This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

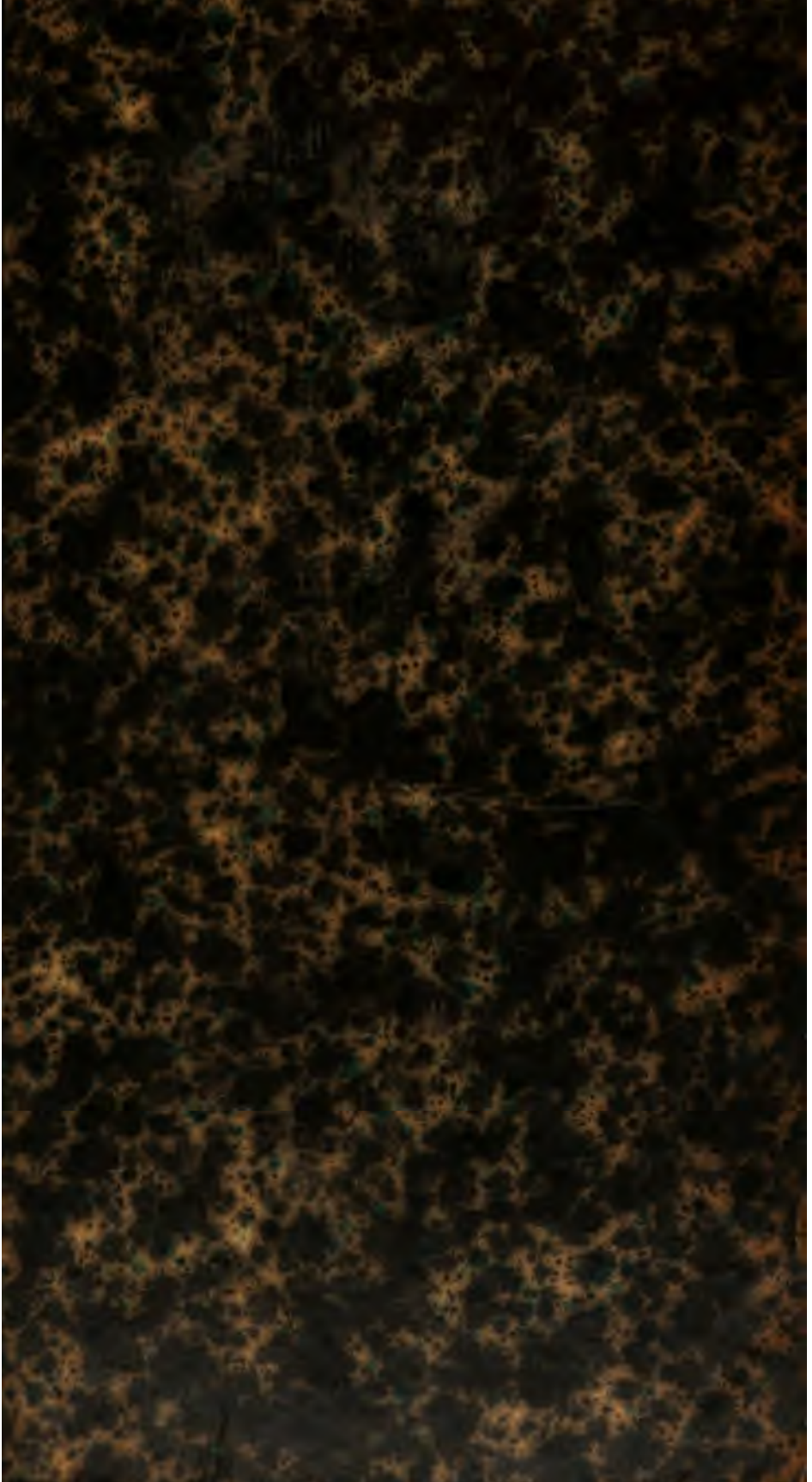
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

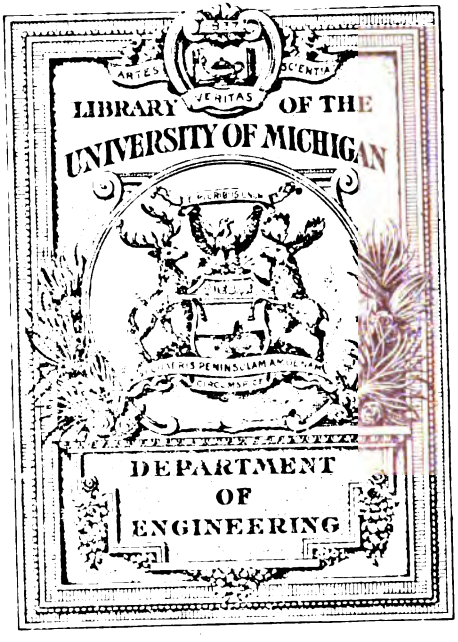
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

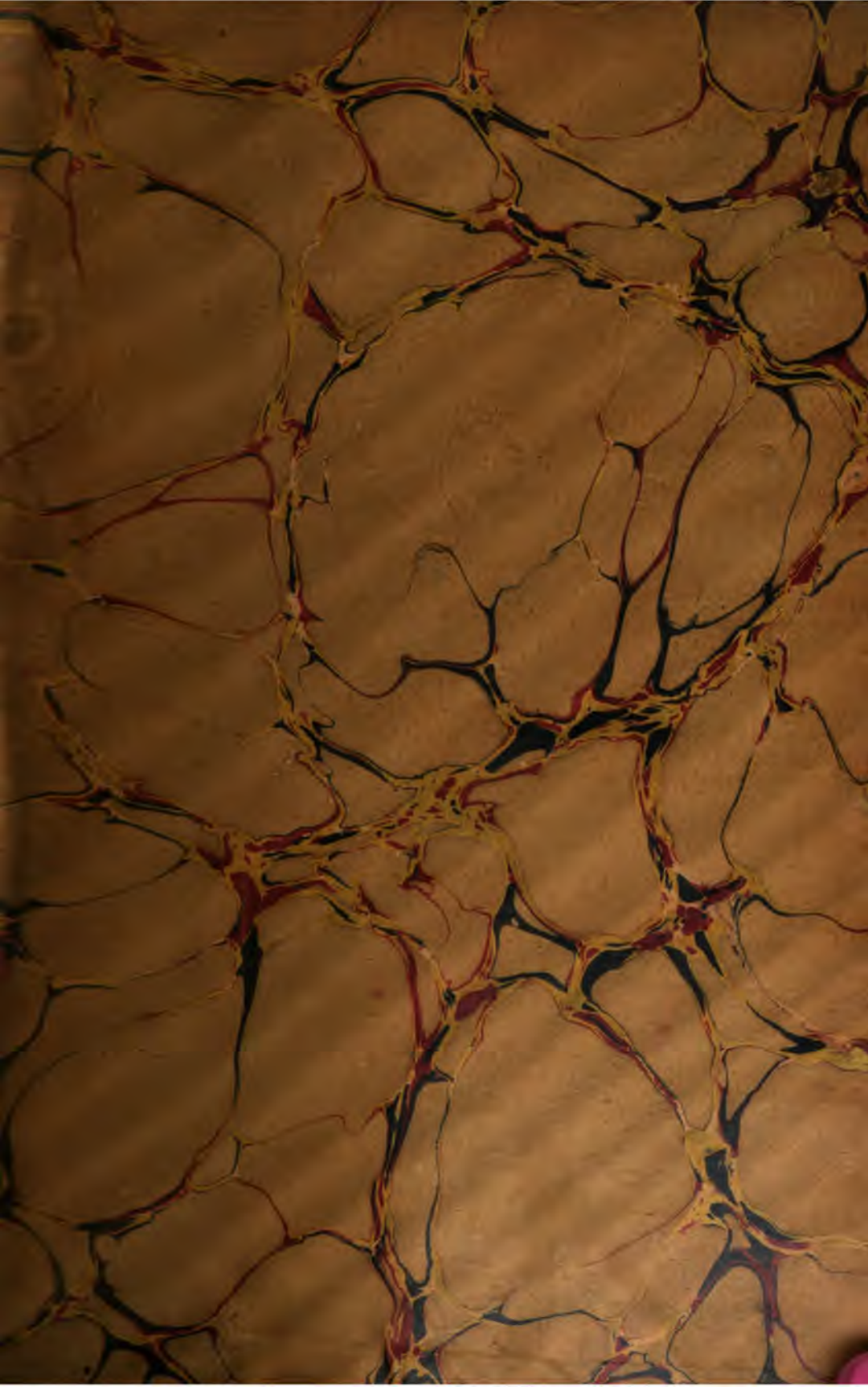
À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING


ANTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



LIBRARY
TA
2
.S68

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

ANNÉE 1906

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1906

PREMIER VOLUME

PARIS

HOTEL DE LA SOCIÉTÉ

19, RUE BLANCHE, 19

—

1906

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JANVIER 1906

N° 1

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de janvier 1906, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

ASTRUC (H.). — *Le vinaigre*, par Henri Astruc (Encyclopédie scientifique des aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 163 p. avec 16 fig.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1905. (Don de l'éditeur.) 44239

BECHMANN (G.). — *Hydraulique agricole et urbaine*, par G. Bechmann (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas. Cours de l'École des Ponts et Chaussées) (in-8°, 255 × 165 de 642 p. avec fig.). Paris, Ch. Béranger, 1905. (Don de l'éditeur.) 44240

Cartes relatives au colmatage des polders de Hollande, Enkluizen 1; Staveren 3; (2 feuilles 690 × 550). (Don du Ministerie van Waterstraat Hendel en Nijverheid, s'Gravenhage.) 44269 et 44270

163113

Chemins de fer et Tramways.

BAUDRY (Ch.). — *Wagon de 40 tonnes de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée pour le transport des tôles de grande largeur*, par Ch. Baudry (Extrait de la Revue générale des chemins de fer et des tramways. N° de décembre 1905) (in-4°. 315 × 225 de 6 p. avec 1 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1905. (Don de l'auteur. M. de la S.) 44265

Chimie.

NICOLARDOT (P.). — *Le vanadium*, par P. Nicolardot. (Encyclopédie scientifique des aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 180 p. avec 5 fig.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^ie^, 1905. (Don de l'éditeur.) 44257

Éclairage.

Société technique de l'industrie du gaz en France. Compte rendu du trente-deuxième Congrès, tenu les 20, 21, 22 et 23 juin 1905, au Havre, dans la salle du Conseil municipal, à l'Hôtel de ville du Havre (in-8°, 250 × 160 de 677 p. avec VII pl.). Paris, Imprimerie de la Société anonyme de Publications périodiques. 1905. 44237

Économie politique et sociale.

CHARPENTIER (H.). — *Le développement industriel et minier du Tonkin*, par M. H. Charpentier (Extrait du Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France. 1905) (in-8°, 250 × 165 de 73 p.). Lille, Imprimerie L. Danel, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44244

Rapport sur la mission Saint-Germain à Londres. Septembre 1905. Organisation et fonctionnement des Agences coloniales anglaises et propositions pour les réformes à apporter à l'Office colonial français (in-8°, 240 × 155 de 30 p.). Paris, Imprimerie Frazier-Soye. (Don de l'Office colonial français.) 44254

Électricité.

GRÜNWALD (F.). et GRÉGOIRE (P.). — *Manuel de la fabrication des accumulateurs*, par F. Grünwald. Première édition française traduite sur la 3^e^ édition allemande, par Paul Grégoire (in-18. 190 × 120 de XII-248 p. avec 94 fig.). Paris, H. Desforges, 1906. (Don de l'éditeur.) .....

GUARINI (E.). — *Les télégraphes en Europe. Leur état actuel en 1905 d'après des documents officiels*, par Émile Guarini (in-8°, 240 × 155 de 68 p. avec 22 illust.). Paris, V^ve^ Ch. Dunod. (Don de l'éditeur.) 44256

Enseignement.

Bel (J.-M.). — *De l'enseignement de la géologie et de la géographie industrielles aux Ingénieurs et aux Agents coloniaux.* Rapport présenté par J.-M. Bel (Congrès international d'expansion économique mondiale, Mons, 24-28 septembre 1905. Section I. Enseignement) (in-8°, 255 × 165 de 9 p.). Bruxelles, Hayez, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44250

Université libre de Bruxelles. 71e année académique. Rapport sur l'année académique 1904-1905 (in-8°, 235 × 155 de 138 p.). Bruxelles, Imprimerie Bruylant-Christophe et Cie, 1905. 44255

Géologie et Sciences naturelles diverses.

Boletin del Instituto geologico de Mexico. Numero 20. (Secretaria de Fomento, Colonization é Industria) (in-4°, 330 × 240 de 116 pages avec 9 pl.). Mexico, Imprenta y Fototipia de la Secretaria de Fomento, 1905. 44246

Législation

Grillet (L.). — *La législation des accidents du travail,* par Louis Grillet (Encyclopédie scientifique des aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 200 p.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1905. (Don de l'éditeur.) 44238

Real Academia de Ciencias y Artes. Año academico de 1905 à 1906. CXLIII de la creación de este Cuerpo. CXXXVI de su erección en Real Academia. Nomina del Personal academico (in-16, 155 × 95 de 152 p.). Barcelona, A. Lopez Robert. 44264

Métallurgie et Mines.

Rapport de la Commission nommée pour étudier les divers procédés électrothermiques pour la réduction des minerais de fer et la fabrication de l'acier employés en Europe (Ministère de l'Intérieur) (in-8°, 235 × 170 de xv-237 p. avec 24 pl., 29 fig. et un appendice). Ottawa, Canada, 1905. (Don de M. G.-H. Gin, M. de la S.). 44271

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Achenbach (A.). — *Die Schiffsschraube. 1. Teil. Ihre Entwicklung und zeichnerische Darstellung,* von Albert Achenbach (in-8°, 240 × 160 de 84 p. avec 25 pl. et 2 tabl.). Kiel, Verlag von Robert Cordes, 1906. (Don de l'éditeur.) 44267

Bates (L.-W.). — *The Panama Canal. System and Projects* by Lindon W. Bates (in-4°, 285 × 215 de 178 p. avec 28 illust. et 15 pl.). 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) .....

Bresson (H.). — *Note sur les ressources hydrauliques de la région normande*, par M. Henri Bresson (Ministère de l'Agriculture. Direction de l'Hydraulique et des améliorations agricoles) (Extrait des Annales. Fascicule 30) (in-8°, 270 × 175 de 17 p. avec 2 pl.). Paris, Imprimerie nationale, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44268

Caby (L.). — *Construction des ports de Bruges et de Zeebruge*, par Louis Caby (L'Ingénieur-Constructeur de Travaux publics. 4e année. Tome II. N° 15. 1905, 4e trimestre, pages 272 à 292 avec pl. XVIII à XX) (in-8°, 255 × 165 de 10 p. avec 3 pl.). Paris, Association amicale des Élèves et anciens Élèves de l'École spéciale de Travaux publics. (Don de l'éditeur.) 44263

Le second Congrès du Sud-Ouest navigable tenu à Toulouse en mai et juin 1903. Compte rendu des travaux, actes et résolutions du Congrès (in-8°, 250 × 160 de 518 p.). Toulouse, Imprimerie et Librairie Édouard Privat, 1904. (Don de M. A. Portait, M. de la S.) 44259

Le troisième Congrès du Sud-Ouest navigable tenu à Narbonne les 27, 28 et 29 Mai 1904. Compte rendu des travaux, actes et résolutions du Congrès (in-8°, 250 × 160 de 361 p.). Toulouse, Imprimerie et Librairie Édouard Privat, 1905. (Don de M. A. Portait, M. de la S.) 44260

Sciences Morales. — Divers.

Raimondi (A.). — *Mapa del Perú. Foja nos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25.* Escala de 1/500 000e (23 feuilles 650 × 500) (Manquent les feuilles 16 et 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 et 34.) Paris, Erhard fres. (Don de M. Ed. Riffard, M. de la S.) 44261

Technologie générale.

Address of Sir Alexander Richardson Binnie, President of the Institution of Civil Engineers, 7 November 1905 (in-8°, 215 × 140 de 20 p.). London, Published by the Institution, 1905. 44249

Catalogus der Boekerij van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs (in-8°, 225 × 130 de 471 p.). S'Gravenhage, J. et H. Van Langenhuysen, 1887. 44252

Catalogus der Boekerij van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. Supplement (in-8°, 225 × 130 de 158 p.). S'Gravenhage, J. et H. Van Laggenhuysen, 1895. 44253

Catalogus der Boekerij van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. Tweede supplement (in-8°, 220 × 140 de VII-186 p.). S'Gravenhage, Martinus Nijhoff, 1905. 44242

GRIÈGES (H. DE). — *Exposition universelle internationale de Saint-Louis. U. S. A. 1904. Section française. Rapport du Groupe 74.* H. de Grièges, Rapporteur (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes) (in-8°, 290 × 195 de 251 p. avec 66 fig., 7 tabl. et 4 pl.). Paris, Comité français des Expositions à l'Étranger, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44262

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; Subject Index. Vol. CLIX-CLXII. Session 1904-1905 (in-8°, 215 × 135 de 19 p.). London, Published by the Institution, 1905. 44248

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CLXII. 1904-05. Part. IV (in-8°, 215 × 135 de VII-488 p. avec 6 pl.). London, Published by the Institution, 1905. 44247

Travaux publics.

Annuaire d'adresses des fonctionnaires du Ministère des Travaux publics, des Chemins de fer, de la Navigation et des Banques, par MM. Marande, Moreau et Billy. *1906* (in-12, 180 × 110 de 434 p.). Paris, au Bureau des Huissiers du Cabinet des Ministres. 44241

BECHMANN et BABINET. — *Notice sur la dérivation des sources du Loing et du Lunain*, par MM. Bechmann et Babinet (Extrait des Annales des Ponts et Chaussées. 3e trimestre 1905) (in-8°, 250 × 165 de 164 p. avec 11 pl.). Paris, E. Bernard. (Don de M. G. Bechmann.) 44251

Comité de conservation des Monuments de l'art arabe. Exercice 1904. Fascicule vingt et unième. Procès-verbaux des séances. Rapport de la section technique, suivis d'un appendice avec 4 planches, par M. Max Herz Bey (in-8°, 245 × 160 de III-133 p. avec 4 pl.). Le Caire, Imprimerie de l'Institut français d'archéologie orientale, 1904. 44245

Voies et Moyens de Communication et de Transport.

Annuaire de l'Administration des Postes et des Télégraphes de France pour 1905. Soixante-quinzième année. Manuel à l'usage du commerce, de la finance et de l'industrie (in-8°, 235 × 155 de 184-368-XIV p.). Paris, Imprimerie Paul Dupont, 1905. 44258

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de janvier 1906 sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM.

G.-L. Angst,	présenté par	MM. Flocon, S. Périssé, L. Périssé.
J. de Baralle,	—	Cornuault, d'Anthonay, P. Mallet.
E. Barrier,	—	Buffet, Deroualle, Guillet de la Brosse.
A.-M.-L. Bidaut,	—	A. Algrin, R. Algrin, Casalonga.
F.-S. Frédureau,	—	Gollier, Marsaux, G. Petit.
J. Guillon,	—	Brocq, Coignet, Michaux.
P.-L. Osch,	—	Beneyton, Danchaud, Vidal.
P. Latron,	—	Balliman, Bour, Dutreux.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JANVIER 1906

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 5 JANVIER 1906

I

PRÉSIDENCE DE M. L. COISEAU, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

M. L. COISEAU, Président sortant, prononce le discours suivant :

MES CHERS COLLÈGUES,

La tradition veut que, chaque année, le Président, dont le mandat vient à expiration, passe rapidement avec vous en revue les travaux et les résultats de l'exercice écoulé.

Ma première pensée doit être d'adresser un pieux souvenir aux Collègues, malheureusement trop nombreux, que la mort a frappés cette année. Leur nombre est en effet de soixante-treize, chiffre qui, jusqu'à présent, n'avait jamais été atteint.

Ce sont, dans l'ordre des séances où ils ont été annoncés :

MM. F. Reymond, ancien Président de la Société, G. Forestier, membre d'honneur, N.-E. Cadet de Vaux, P. Dorel, Ch. Jablin-Gonnet, F. Le Cornec, L.-A. Raynaud, M.-M.-H. Desgrange, Th. Favarger, P.-Ch.-L. Guillemant, J. Hignette, L.-A. Yvon, Ph. Goldschmidt, B. Petot, A.-H. Salvetat, G.-E. Vian, E.-F.-E. Vivez, A. Sans y Garcia, H.-P.-E. Walther-Meunier, P. Paulin, E. Lemarchand, W. Martin, A. Lencauchez, G. Thareau, E. Neveu, E. Mathelin, E. Level, E. Breton, A. Grimault, L. Le Brun, P. Martin, D. Poulot, E. Chabardès, E. Paillet, A. Schlincker, Ed. Simon, Ch. Desouches, E. Franck, H. Lecouteux, V.-A. Thirion, A. Bœuf, L.-F. Lantillon, E.-G. Lussy, S.-D. Gillet, F.-A. Jacqmin, J.-J.-R. Supervielle, P.-J.-V. Terrier, G.-F. Forgue, B. Barbier, H. de Blonay, L. Chandora, A. Dormoy, E. Fouquet,

J. Grégoire, L. Husson, C. Jolly, Ch. Lucas, A. Marion, G. Nagelmackers, J. Richard, J. Thiry, E. Bossi, E. Deck, P. Carbonnier, F. Ramon Fernandez fils, A. Radenac, A.-F. Desouches, P. Dubiau, P.-E. Gauchot, E. Gaget, D. Vega, Ch. Lamy.

Au cours de nos séances, nous avons chaque quinzaine, en annonçant ces pertes cruelles, retracé autant que nous le pouvions, leur carrière et les liens qui les rattachaient à nous. Il en est cependant desquels je dois encore vous parler ici.

C'est d'abord de notre ancien Président, M. Francisque Reymond, Membre de notre Société depuis 1858. Les discours prononcés à ses obsèques par MM. Fallières, Président du Sénat; par votre Président et par MM. Maurice Lévy, Président du Conseil de perfectionnement de l'École Centrale; P. Roger, Président de l'Association Amicale des anciens Élèves de l'École Centrale; A. Picard, Vice-Président du Comité consultatif des Chemins de fer; le Préfet de la Loire; Levet, Député de la Loire; Ory, Député de la Loire; Chialvo, Maire de Montbrison; Audiffred, Sénateur, qui ont paru dans notre Bulletin de juillet, ont retracé sa carrière mieux que je ne pourrais le faire ici.

Ce que je tiens à rappeler c'est le dévouement qu'il n'a cessé de montrer à notre Société dans toutes les circonstances.

Puis de M. G. Forestier, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite, que nous avions nommé Membre d'honneur il y a quelques années.

M. Forestier s'était, vous le savez, consacré entièrement, depuis quelque temps, à l'Automobilisme, dont il fut un des apôtres de la première heure. Il était toujours heureux de nous apporter la primeur des questions qu'il avait pu étudier dans cette branche si importante de l'industrie.

Nous avons eu également à regretter le décès de M. H. Desgrange, qui fut Vice-Président de la Société en 1871, 1872 et 1875.

Ancien Directeur du Matériel et de la Traction des Chemins de fer du Sud de l'Autriche, situation dans laquelle lui avait succédé notre ancien Président. M. Gottschalk, Président honoraire de la Compagnie des Chemins de fer de Bône à Guelma et prolongements, M. Desgrange a laissé parmi nous des souvenirs d'affabilité et de bonne camaraderie qui ne s'effaceront pas de notre mémoire.

Notre Comité a vu disparaître d'abord notre Collègue M. A. Lencauchez, dont vous connaissez tous la compétence spéciale dans les questions qui touchaient l'utilisation des gaz et leur application à la métallurgie.

Par un labeur incessant, Lencauchez, qui s'était fait lui-même, était arrivé à occuper dans la métallurgie une situation d'Ingénieur-Conseil des plus considérées.

Plus récemment, nous avons eu a déplorer la perte de M. A. Bécard, Membre de notre Comité depuis un an, Répétiteur du cours de résistance et Chef des essais des matériaux à l'École Centrale.

Bien que notre Collègue appartint au Comité depuis peu de temps, nous avions su apprécier son urbanité et le dévouement qu'il ne cessait d'apporter à tout ce qui touchait la Société.

Nous avons également perdu M. Ed. Simon, Membre depuis 1868, et qui, depuis 1882, avait été dix fois membre du Comité. Vous savez que c'est lui qui, en souvenir de son oncle, M. Michel Alcan, notre ancien Président, a fondé le Prix qui porte ce nom et qui est réservé aux travaux présentés par les Membres reçus depuis moins de trois ans.

Enfin, le lendemain même de nos élections, nous apprenions le décès de M. Ch. Pinat, Maître de forges à Allevard, qui avait déjà fait partie du Comité il y a un an et que vos suffrages avaient choisi de nouveau.

M. Ch. Pinat était un des apôtres les plus convaincus de l'utilisation des forces hydrauliques et c'est à lui qu'est due, en grande partie la fondation du Syndicat de la houille blanche.

Les noms de MM. Pinat et Bécard, dont les décès sont tout récents, ne figurent pas sur les contrôles de l'exercice dont je vous rends compte, mais j'ai tenu cependant à rappeler leur mémoire.

Ces pertes nombreuses ont été en partie, comblées par les nouveaux Membres que nous avons admis cette année.

Comme vous le disait, dans la séance du 15 Décembre dernier, notre Trésorier, M. de Chasseloup-Laubat, les admissions ont été, au cours de 1905. de 136.

Malheureusement les nombreux décès que je viens de rappeler, les démissions et les radiations auxquelles nous avons dû procéder d'office, ont dépassé le nombre des nouveaux admis, de telle sorte qu'en réalité notre nombre est de 19, inférieur à celui du commencement de l'année précédente.

Je me joins donc à notre Trésorier pour vous engager, mes chers Collègues, à faire autour de vous de la propagande pour notre Société en lui amenant de nouveaux Membres.

Quant à notre situation financière, elle nous a, tous comptes faits, laissé un excédent de 12617,64 f.

Je suis heureux, à cette occasion, d'adresser à notre Trésorier. M. de Chasseloup-Laubat, des remerciements pour sa gestion si éclairée et le dévouement qu'il ne cesse de nous consacrer pour mener à bien les intérêts financiers qui lui sont confiés.

J'ai également à remercier les généreux donateurs qui nous ont témoigné de leur sympathie en nous remettant des sommes dont le total atteint 1 557, 80 f. Ce sont : MM. Grosdidier, Beaupré, Gaudry, Madame veuve Monchot, André Requier, Guerra Romero et Frey.

Grâce à leur concours nous avons pu nous montrer un peu plus larges dans la distribution des sommes que nous consacrons chaque année à venir en aide à ceux de nos Collègues qui s'adressent à nous.

Nous avons également reçu de MM. Coiseau et Vallot une somme de 750 f, qui a été portée, suivant les volontés des Donateurs, au compte du remboursement de l'Emprunt.

Décorations.

Au cours de cet exercice, les Membres de notre Société ont reçu, des Pouvoirs Publics et des Gouvernements étrangers, de nombreuses distinctions honorifiques.

Nous comptons en effet: 1 Commandeur, 5 Officiers et 16 Chevaliers de la Légion d'honneur; 11 Officiers de l'Instruction publique, 31 Officiers d'Académie; 5 Officiers et 19 Chevaliers du Mérite Agricole: 1 Médaille de Mutualité; 3 Chevaliers de François-Joseph; 1 Chevalier de Saint-Stanislas; 1 Chevalier de Léopold; 1 Commandeur du Medjidié; 1 Commandeur de l'Osmanieh; 1 Officier du Mérite civil de Bulgarie 2 Commandeurs et 1 Officier du Nicham-Iftikar; 1 Grand'Croix; 1 Commandeur et 1 Officier du Dragon d'Annam, et un Grand'Croix de l'Etoile d'Anjouan.

Les noms de tous ces Collègues ont été rappelés au fur et à mesure de leur nomination dans chacune de nos séances; je leur adresse ici, de nouveau, toutes les félicitations de la Société.

Depuis la date à laquelle a été arrêtée la liste ci-dessus, nous avons eu la bonne fortune de compter 1 Officier de la Légion d'honneur de plus: c'est notre ancien Président, M. G. Dumont, auquel cette haute distinction a été accordée comme Président de l'Association des Industriels de France contre les Accidents du Travail, et ce, à l'occasion de l'inauguration du Musée préventif des Accidents du Travail au Conservatoire des Arts et Métiers.

Vous vous joindrez certainement à moi pour lui exprimer le plaisir que nous a causé cette distinction si bien méritée. (*Applaudissements.*)

Enfin, notre Société ayant participé à l'Exposition de Liège y a obtenu un Grand Prix.

Nous avons eu également la bonne fortune de voir un grand nombre de nos Collègues nommés Membres de Comités ou Commissions, en dehors de notre Société.

Je ne rappellerai pas ici toutes ces nominations que vous pouvez trouver dans les procès-verbaux des séances.

Je dois cependant insister plus spécialement sur le nom de notre ancien Président, M. A. Loreau, qui a été nommé Président de la Commission technique de l'Automobile Club de France, Président du premier Congrès de Tourisme et de Circulation automobile sur route et Vice-Président de la Société des Agriculteurs de France, et sur celui de notre ancien Président, M. P. Bodin, nommé Membre de la Commission technique du Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers.

Fidèle à ses traditions de prendre également une part active à toutes les manifestations d'ordre scientifique et industriel, notre Société s'est fait représenter par des Délégués à un certain nombre de Congrès, tels que : le Congrès International du Pétrole, à Liège; le Congrès International de l'Acétylène, à Liège; le Congrès International des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquées, à Liège; le Congrès International de Navigation maritime et fluviale, à Milan; le Congrès National de la Propriété industrielle, à Angoulême et à Cognac; le Congrès International des Chemins de fer, à Washington et le Congrès de Tourisme et de Circulation automobile sur route, à Paris.

Prix et Récompenses.

Conformément à ses Statuts, notre Société a décerné, cette année, son Prix Annuel, (médaille d'or) ex œquo, à MM. Tellier et J. Rey; le Prix Couvreux à M. F. Arnodin.

Quant aux Prix Giffard, pour lesquels aucun Mémoire n'avait été déposé, il a été décidé de proroger celui de 1905 pour être distribué en même temps que celui de 1908, et, dans la séance du 1er décembre dernier, les conditions de ces deux Concours ont été portées à votre connaissance.

J'insiste particulièrement, mes chers Collègues, sur l'intérêt que peuvent présenter les sujets mis au concours pour l'attribution de ces deux Prix, qui doit avoir lieu en 1908.

Beaucoup de nos Collègues ont également reçu des Prix et récompenses de diverses Sociétés savantes :

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale a décerné : deux grandes médailles d'or de 1903 et 1904 à MM. P. Heroult et F. Arnodin; deux médailles d'or à MM. L. Guillet et E. Schwœrer; deux médailles de vermeil à MM. E. Farcot fils et F. Fromholt; quatre médailles d'argent à MM. A. Defauconpret, F. Colomer, C. Lordier et A. Montupet; deux médailles commémoratives en argent à MM. G. Hersent et L. Magne.

La grande médaille de la Société provinciale des Architectes a été décernée à M. A. Gouault et une médaille d'or a été décernée à M. G. Paraf par la Société d'Encouragement au Bien.

L'Académie des Sciences a décerné le Prix Montyon de Mécanique à M. G. Richard.

J'en arrive, mes chers Collègues, aux travaux de la Société. Les communications ont été nombreuses; elles nous ont montré que les progrès dans l'industrie sont constants. Je les classerai en les reportant à chacune des Sections dont elles relèvent plus particulièrement.

I^re^ SECTION.

Travaux publics et privés.

Huit communications, ce sont :

Le nouveau port de Rosario dans la République Argentine, par M. J. Hersent.

Travaux publics, en 1905, à la Guyane française, par M. J. Deydier.

Travaux de construction des différentes lignes du Métropolitain de Paris, par M. G. Lesourd.

Le port de Buenos-Aires et ses agrandissements, par M. Auguste Moreau.

Les tunnels tubulaires en terrains aquifères. La traversée sous la Seine de nouvelles lignes du Métropolitain, par M. C. Birault. Observations de M. A. de Bovet.

Compte rendu du Concours organisé en Autriche pour la présentation de projets indiquant les moyens de faire franchir les grandes chutes par les

bateaux de navigation intérieure, par M. A. DE BOVET. Observations de M. QUINETTE DE ROCHEMONT.

Les grandes constructions américaines, par M. G. COURTOIS.

Le pont de Commerce, à Liège, à arcs conjugués, par M. Th. SEYRIG. Observations de MM. P. REGNARD et A. DALLOT.

IIe SECTION.

Industrie des Transports.

Dix communications, ce sont :

La capacité des wagons à marchandises, par M. E. BIARD.

Le dirigeable Lebaudy, par M. H. JULLIOT.

Quelques nouveaux types de matériel de Chemins de fer, par M. Henri CHEVALIER.

Le Congrès international des Chemins de fer tenu à Washington, en mai 1905, Compte rendu par M. E. PONTZEN.

Compte rendu des travaux du Xe Congrès international de Navigation, Milan, septembre 1905, par M. A. DE BOVET.

L'œuvre de G. Forestier et sa contribution aux progrès de l'industrie automobile, par M. A. LOREAU.

Compte rendu du dernier concours de Poids lourds et de véhicules industriels, par M. A. LUMET. Observations de M. R. ARNOUX.

Les oscillations du matériel des chemins de fer à l'entrée en courbe et à la sortie, par M. G. MARIÉ.

Les voitures électromobiles, par M. L. KRIEGER.

Le goudronnage des routes, par M. Ch. DE FRÉMINVILLE.

IIIe SECTION.

Mécanique et ses Applications.

Neuf communications, ce sont :

Organisation et outillage du Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, par M. A. PÉROT,

Les machines à vapeur à l'Exposition de Saint-Louis de 1904, par M. K. SOSNOWSKI.

Les applications de la vapeur surchauffée aux machines, par M. Ch. COMPÈRE.

Les régulateurs à force centrifuge. — Remarques générales sur leur stabilité et sur leur réglage, par M. L. RITH.

Fondations isolantes Anthoni-Prache contre bruits et trepidations, par M. P. PRACHE.

L'enrouleur de courroies de M. le capitaine Leneveu « Le Lénix », par M. J. TEISSET. Observations de MM. A. BOCHET, P. REGNARD, A. BRANCHER, A. HILLAIRET, et lettre de M. F. KREUTZBERGER.

Note sur une communication faite par M. Teisset sur l'enrouleur de courroies « Le Lénix », de M. le capitaine Leneveu, par M. F. KREUTZBERGER.

Comment s'exerce l'action de paroi dans les moteurs à combustion interne, M. LETOMBE. Observations de MM. BOCHET, ARNOUX et DESCHAMPS.

IVe Section.

Mines et Métallurgie.

Sept communications, ce sont :

Note sur l'emploi de l'air sec dans les hauts fourneaux, d'après les essais de M. J. Gayley, à Pittsburg, par M. A. Gouvy.

Compte rendu de l'Excursion organisée par la Société dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais et à l'Exposition d'Arras du 9 au 12 juin 1904 (suite). Exposition du nord de la France, Arras (12 juin 1904), par MM. J.-M. Bel et P.-A. Schuhler.

Aciers à outils à coupe rapide, par M. L. Guillet.

La métallurgie du cuivre aux États-Unis, par M. F. Glaizot.

Compte rendu de la Section de Métallurgie de Liége. — I. *Note sur les questions traitées au Congrès.* — II. *Note sur les usines belges visitées*, par M. A. Gouvy. Observations de M. L. Guillet.

Communications faites en séance et non insérées au Bulletin :

La fusion pyritique, par M. P. Jannettaz.

L'Industrie sidérurgique aux États-Unis, par M. G. Rivière. Observations de M. L. Guillet.

Ve Section.

Physique et Chimie industrielles.

Huit communications, ce sont :

Le Radium et la Radioactivité, par M. Paul Besson. Observations de MM. P. Chalon, H. Monnory.

Etude technique comparative des alcools dénaturés (Vienne 1904), par M. Lucien Périssé. Observations de M. E. Barbet.

L'Économie industrielle des forces hydrauliques et leur législation, par M. E.-F. Cote.

L'Industrie du ciment aux États-Unis, par M. Georges-P. Roux.

Le progrès de l'industrie du ciment Portland, par M. E. Candlot.

Analyse du mémoire de M. A. Lencauchez : Études, observations, essais et recherches sur les gazogènes à combustion renversée, etc., par M. J. Deschamps.

La liquéfaction de l'air et ses applications à la fabrication industrielle de l'oxygène et de l'azote, par M. G. Claude. Observations de M. Ch. Bardot.

La soudure autogène des métaux, par M. P. Dumesnil. Lettres de MM. R. Arnoux, E. Fouché.

VIe Section.

Industries électriques.

Deux communications, ce sont :

Les courants de haute fréquence et la téléphonie sans fil, par M. L. Angel.

Les installations hydro-électriques de la Haute-Italie, par M. G. Semenza. Observations de M A. Hillairet.

Je dois rappeler aussi qu'au cours de l'exercice, nous avons eu l'occasion de faire plusieurs visites intéressantes.

Nous avons, en effet, le 18 février dernier, grâce à l'amabilité de son directeur, M. Perot, visité le Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers.

Nous avons été initiés à tous les détails du fonctionnement scientifique de cette intéressante installation, qui est appelée, de jour en jour, à rendre des services de plus en plus grands à l'industrie française.

Un grand nombre d'entre nous, sur l'invitation de M. Bouty, Président de la Société Internationale des Électriciens, ont pu suivre dans ses détails les installations du Laboratoire Central et de l'École supérieure d'Électricité, que nous avons visités le 8 juillet dernier.

Enfin, dans les derniers jours de décembre, et sur l'aimable invitation qui nous a été faite par notre Collègue, M. Genis, Président de la Société d'Électricité de Paris, nous avons examiné dans toutes ses particularités l'installation grandiose qu'elle a établie à Saint-Denis.

Nous renouvelons nos félicitations au Président et aux Ingénieurs, ainsi qu'aux membres du Conseil d'administration de cette Société, pour leur initiative hardie.

Pour terminer ces visites, nous nous sommes rendus, le 22 décembre, au Salon de l'Automobile, du Cycle et des Sports, dont les portes nous avaient été gracieusement ouvertes par le Commissaire général, M. Rives.

Notre ancien Président, M. Loreau, s'était chargé de l'organisation de cette visite et après nous avoir mis au courant dans une substantielle allocution, des progrès de l'automobilisme, nous confiait à MM. A. Lumet, R. Arnoux, de La Valette et L. Périssé, qui nous firent sur place la description des nombreux et intéressants moteurs exposés.

Je suis heureux d'adresser ici les vifs remerciements de la Société à tous ces Messieurs pour l'amabilité avec laquelle ils nous ont fourni, au cours de ces visites, les explications, nous permettant ainsi d'en retirer tous les fruits qu'on pouvait en attendre.

En plus des travaux énumérés plus haut et dont nos Bulletins contiennent les mémoires détaillés accompagnés de dessins et de planches, nous avons eu, comme chaque année, un grand nombre de Bibliographies, des Chroniques et Comptes rendus mensuels, dus à la plume si autorisée de notre érudit Collègue, M. A. Mallet ; enfin, toute une série d'avis divers qu'il serait trop long d'indiquer ici.

Pour mener à bien ces nombreux travaux, le Bureau s'est réuni 9 fois, le Comité 19, la Société 18. Enfin, les Sections ont tenu 46 réunions et nous avons eu 14 réunions de Commissions diverses, soit au total 106 réunions.

Vous voyez, mes chers Collègues, que les Membres de votre Bureau et de votre Comité apportent à la direction de vos affaires un dévouement dont je ne saurais trop les remercier ici et qui ne m'a jamais fait défaut un instant.

Je n'oublie pas, dans mes remerciements, le personnel de la Société et, particulièrement, M. de Dax, notre Secrétaire administratif, qui,

avec sa grande connaissance des choses de la Société, apporte dans son service le plus intelligent dévouement.

C'est grâce à tous ces concours, grâce aussi à la bienveillante sympathie dont vous avez bien voulu m'entourer que j'ai pu mener à bien, du moins je l'espère, la tâche, souvent lourde et délicate, imposée à celui que, par vos suffrages, vous choisissez comme Président. *(Applaudissements.)*

(Se tournant vers M. Hillairet, nouveau Président) :

Mon cher Président,

Permettez-moi de vous exprimer tout le plaisir que j'ai à vous voir me succéder au fauteuil de la Présidence.

En vous faisant ce grand honneur la Société a voulu montrer en quelle estime elle tient les Ingénieurs électriciens et, particulièrement, celui qui fut leur Président.

L'École supérieure d'Electricité vous a compté parmi ses professeurs, de 1894 à 1901 (cours des applications mécaniques de l'électricité et de la traction électrique).

Vos travaux théoriques, dont vous avez entretenu les différentes Sociétés savantes, sont des plus appréciés. Je ne citerai que ceux sur la transmission électrique du travail mécanique, la théorie de la machine à influence de Wimshurst, sur un phénomène hydraulique observé à l'avant des navires à grande vitesse, sur l'éclairement droit de foyers lumineux identiques et équidistants, sur l'influence des orages sur les lignes de transmission d'énergie électrique.

Notre Société a voulu aussi honorer en vous le constructeur habile et plein d'initiative qui a fait connaître en Espagne, en Italie, en Russie, en Égypte, l'industrie électrique française, qui, en 1891, obtint l'un des prix lors du concours pour son projet d'utilisation des chutes du Niagara, et qui, dès 1889, construisit dans les Alpes l'une des premières usines de transmission de force.

Vous étiez donc des plus qualifiés, mon cher Président, pour diriger les travaux de la Société ; en vous élisant elle ne pouvait faire un meilleur choix. Prenez donc place au fauteuil de la Présidence. *(Vifs applaudissements.)*

M. A. Hillairet, nouveau Président, après avoir serré la main de M. L. Coiseau, prend place au fauteuil et prononce le discours suivant :

Mon cher Président,

Je vous remercie de vos paroles bienveillantes, nouveau témoignage de votre amitié.

Depuis de longues années, les sentiments qui vous animent envers votre successeur n'ont pas varié : je suis heureux de pouvoir vous en exprimer toute ma reconnaissance.

Vous quittez la Présidence en nous laissant une situation limpide et prospère.

Vous avez obtenu, de l'organisation nouvelle créée par les nouveaux

statuts, des résultats conformes au vœu des inspirateurs de cette réforme; nos anciens Présidents, MM. Molinos, Salomon et Buquet doivent en éprouver la plus heureuse satisfaction.

De ces résultats, permettez-moi de rappeler l'un des plus importants : le programme des communications était arrêté presque complètement pour l'année entière dès le mois de février et vos Présidents de section se sont appliqués, avec succès, à en assurer l'exécution ponctuelle.

Nous vous demandons, mon cher Président, de ne pas vous éloigner de nous : nous sommes habitués à vos conseils et à votre appui. Vous ne pouvez nous en priver. *(Applaudissements.)*

MESSIEURS,

Je vous remercie du grand honneur que vous m'avez réservé en me portant à la Présidence.

Je vous en suis très reconnaissant, mais je ne pourrai vous prouver ma reconnaissance que peu à peu, à mesure que se manifesteront les résultats de nos efforts communs.

Notre cher Président, M. Coiseau, nous lègue un héritage de puissance et d'activité que nous ne pouvons laisser décroître. Pour le maintenir, votre concours est indispensable : permettez-moi de le considérer comme acquis, de même que je compte sur l'aimable collaboration de votre Comité, de vos Présidents de section et de votre Vice-Président.

Nous avons à saluer l'arrivée à la Vice-Présidence de M. Cornuault, Président du Syndicat des Industries du gaz, dont l'activité vous fait prévoir la bonne marche de notre Société cette année et l'année prochaine; l'arrivée à la Présidence de la section des Transports de M. de Fréminville, qui est à la tête de l'un des plus grands ateliers de construction d'automobiles, et qui porte un nom dont beaucoup d'entre nous gardent le respectueux souvenir; à la Présidence de la section des Mines et de la Métallurgie, de M. Reumaux, Directeur général de la Compagnie des Mines de Lens, universellement connu et estimé, et dont la présence à votre Bureau est un honneur pour notre Société. Que les Membres nouvellement élus du Comité reçoivent nos compliments de bienvenue, au moment où ils se disposent à collaborer activement à la préparation de nos travaux.

MESSIEURS,

Les lignes télégraphiques et les lignes téléphoniques ont pu, dès l'origine, franchir plusieurs centaines de kilomètres; les transmissions d'énergie électrique pour les usages industriels ont mis plus de vingt-cinq ans à passer de quelques dizaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres.

Sans analyser la question, on se rend compte, à première vue, que l'ordre de grandeur de l'énergie mise en jeu dans chacun de ces cas est la seule cause de cette différence.

Avec les appareils télégraphiques, l'intensité du courant suffisant pour transmettre un signal est de l'ordre des milliampères; la tension entre le fil de travail et la terre varie de 15 à 100 volts au plus, suivant la longueur de la ligne. Ainsi, par exemple, 15 volts suffisent pour les si-

gnaux d'une gare, et pour transmettre un télégramme à Marseille, Turin ou Berlin, il n'est pas besoin de plus de 100 volts.

Les lignes sous-marines exigent encore moins : 20 volts suffisent pour transmettre un signal à travers les 3000 milles de câble qui séparent Brest du cap Cod.

L'intensité des courants téléphoniques est de l'ordre des millionnièmes d'ampère ou microampères; la tension efficace entre le fil et la terre, aux bornes du transmetteur, est de l'ordre des millivolts. Les pertes de charge dans des lignes composées de fil de fer de 4 à 6 mm de diamètre ou de fils de cuivre de calibre analogue sont donc très faibles, et on conçoit facilement la possibilité de transmissions téléphoniques satisfaisantes.

Tout autres sont les intensités en usage dans les distributions industrielles d'énergie électrique.

Une tension de 120 ou même de 240 volts ne permet pas de dépasser économiquement un rayon de plus de quelques centaines de mètres. A mesure que la distance s'accroit, la tension doit être élevée autant qu'on le peut.

La nécessité du réglage, dans les distributions en derivation, force également à la diminution des pertes de charge. Pour atteindre économiquement un rayon de 100 kilomètres, il faut atteindre au moins 25000 volts.

On exploite actuellement à 40000 volts.

Ces tensions n'ont pu être atteintes que par étapes.

La puissance et les applications du matériel électrique se sont développés parallèlement.

Les distributions électriques peuvent maintenant couvrir, autour d'une usine centrale, hydraulique ou thermique, plusieurs milliers de kilomètres carrés. La surface de la France, comme celle de l'Europe et de bien d'autres régions, sera prochainement desservie par des lignes industrielles plus serrées et plus ramifiées que les lignes télégraphiques et téléphoniques.

La plupart des industries, les plus importantes comme les plus modestes, auront avantage à acheter l'énergie électrique obtenue à bon compte dans des usines spéciales. L'agriculture, qui est la plus grande industrie de notre pays, tirera le plus sérieux bénéfice de ce nouveau moyen.

Cette transformation inaugure un nouvel âge de l'industrie.

Nombreux furent les Ingénieurs dont les travaux ont abouti à de tels résultats, et parmi eux, nous avons l'honneur de compter plusieurs de nos Collègues.

Évoquer les travaux de nos Collègues, et, plus généralement de nos compatriotes précurseurs, contemporains ou disparus, m'a paru être, aujourd'hui, le premier devoir de votre Président.

Dynamos.

Notre Collègue M. Fontaine, collaborateur de Gramme, montra en 1873 qu'on pouvait faire tourner un moteur magnéto-électrique en l'ali-

mentant par une machine du même genre. Jusqu'alors, on ne s'était préoccupé que d'alimenter les moteurs avec des piles, et, en particulier, dans les laboratoires avec des éléments secondaires de Planté. C'est ainsi que Gramme avait constaté la réversibilité de sa machine inventée en 1869.

En l'absence d'une théorie, même élémentaire, du fonctionnement des machines magnéto et des machines dynamo-électriques, ainsi que de la distribution du courant, ce mode de transport de la puissance mécanique ne fut alors réalisé que pour de faibles puissances et à des distances qui ne dépassaient pas quelques dizaines de mètres.

Vers 1880-81, les travaux de M. Marcel Deprez et de notre Collègue Cabanellas apportèrent quelque clarté dans cette direction.

M. Marcel Deprez présenta à l'Académie des Sciences le 16 mai 1881, puis au Congrès d'Électricité de la même année, une représentation de la marche des machines dynamo-électriques d'où il tirait la détermination des enroulements et les principes du réglage de la tension pour les distributions en dérivation et du réglage de l'intensité pour les distributions en série.

Au même congrès de 1881, Cabanellas apporta un mémoire important sur le transport et la distribution de l'énergie par voie électrique, où sont clairement exposés les dispositifs généraux actuellement en usage; distributions en dérivation, distributions en série, sous-stations de transformations.

L'influence de ces mémoires a été considérable : vous l'avez reconnu en attribuant à M. Marcel Deprez un prix Schneider en 1903.

Il est juste de rappeler ici le nom de notre Collègue M. Niaudet, Ingénieur habile et érudit, collaborateur de L. Bréguet, son oncle, de Gramme et de M. Fontaine. Son traité des « Machines à courants continus » était le seul que nous possédions en 1881. Auparavant, il avait publié un Traité élémentaire de la pile électrique et un Précis sur les téléphones et les phonographes.

M. Deprez et notre Collègue M. Carpentier brevetèrent en 1881 un dispositif de réglage de la tension aux bornes des dynamos : l'excitation y était fournie par deux circuits, l'un en série avec l'induit, l'autre alimentée par un courant constant issu d'une source extérieure.

En 1882, notre Collègue M. Desroziers, pour obtenir le même réglage breveta un dispositif comportant deux dynamos dont les induits étaient associés en série; l'une des dynamos était excitée en dérivation, l'autre en série. Le dispositif fut simplifié et les deux dynamos fondues en une seule possédant à la fois une excitation en dérivation et une excitation en série.

La dynamo à excitation mixte et réglage automatique était créée : elle nous revint quelques mois plus tard de l'étranger sous le nom de dynamo Compound.

Malheureusement pour nos Collègues; en juin 1878, l'Américain Brush avait indiqué l'emploi d'un double enroulement pour empêcher le désamorcement des machines de galvanoplastie, mais sans y voir un procédé de réglage de la tension.

En 1885 et en 1886, dans deux brevets successifs qu'il est intéressant

de consulter, M. Desroziers indiqua et préconisa les enroulements polygonaux en série, les raccords en développante et les connecteurs pour les induits, dispositifs qu'il appliqua à ses machines à disques, et qu'on retrouve généralisés dans les machines cylindriques actuelles.

De 1882 à 1886, M. Marcel Deprez étudia le transport de l'énergie par dynamos à courant continu de Miesbach à Munich avec 1 300 volts, de La Chapelle au Bourget et de Vizille à Grenoble avec 2 500 volts, puis de Creil à Paris avec 6 000 volts.

A la fin de 1886, M. Fontaine reproduisit, en circuit local, les conditions de ce dernier essai avec quatre dynamos génératrices en série donnant, au total, entre leurs bornes extrêmes, environ 6 000 volts, et trois réceptrices du même type, en série, accouplées mécaniquement entre elles et reliées à une poulie de frein.

Ce dispositif de fractionnement de la tension totale facilite la construction des dynamos : il est adopté aujourd'hui dans les distributions en série.

La plupart des instruments de mesure du courant continu, pour les plus faibles valeurs, comme pour les plus grandes, sont dérivés du galvanomètre à aimant et à amortissement électro-magnétique construit par MM. Marcel Deprez et d'Arsonval en 1881 avec la collaboration de M. Carpentier.

Enfin, rappelons que le premier système tournant d'un mouvement continu par l'action d'un courant sur un champ magnétique fut l'équipage vertical d'Ampère, imaginé à la fin de l'année 1820.

Alternateurs.

Les machines magnéto-électriques de notre Collègue de Meritens furent adoptées par l'Administration des Phares en 1877. Ces alternateurs, à aimants permanents, issus des machines de l'Alliance, avaient un rendement peu élevé et une self-induction excessive, mais la simplicité de leurs organes et l'impossibilité de l'élévation du courant aux courts-circuits les faisaient apprécier du personnel des Phares.

J. Hopkinson exécuta, en 1884, avec les machines Meritens du phare du South Foreland, les essais demeurés classiques sur l'emploi des alternateurs comme moteurs et sur l'accouplement électrique des alternateurs.

En 1877, Gramme construisit pour l'alimentation des bougies Jablochkoff, des alternateurs à induit lisse et à plusieurs circuits qui réalisaient un progrès important.

Peu après, M. Joubert, alors professeur au Collège Rollin, entreprit ses études sur les machines magnéto-électriques, publiées successivement, puis réunies en un mémoire qui parut en 1881. Le travail de M. Joubert donne la première analyse physique exacte du fonctionnement d'un alternateur, met en évidence le décalage variable entre la force électromotrice et l'intensité dans un circuit inductif, et indique pour la mesure des courants alternatifs des procédés devenus aujourd'hui d'un usage courant. En souvenir de son œuvre, nous avons attribué à M. Joubert un prix Schneider en 1903.

Depuis 1892, l'accouplement des alternateurs en parallèle, indispensable pour les exploitations à courant alternatif, a été étudié par notre Collègue M. Maurice Leblanc, par MM. Blondel et Boucherot.

Cornu, membre de l'Institut, résuma, en un mémoire présenté en 1894 à la Société internationale des électriciens, des recherches sur la synchronisation électro-magnétique. Cet ensemble de travaux est universellement connu et utilisé.

En 1892, M. Maurice Leblanc imagina l'emploi de circuits amortisseurs pour étouffer les harmoniques et créer, dans les alternateurs en parallèle, un rappel instantané énergique à la moindre perturbation du synchronisme. Le dispositif de M. Leblanc a été adopté pour les plus grands alternateurs de France, des États-Unis et d'Allemagne.

Le compoundage des alternateurs a reçu différentes solutions de MM. M. Leblanc, Boucherot et Blondel.

Moteurs a courant alternatif.

L'impossibilité où on se trouvait, il y a vingt ans, d'alimenter par un courant alternatif simple des moteurs autres que des moteurs synchrones, donna naissance aux systémes polyphasés.

Les premiers moteurs polyphasés, dits à champ tournant, ne démarraient pas en charge (1887-1888).

M. Maurice Leblanc indiqua, en 1890, un procédé de démarrage en charge sans accroissement de la réaction de l'induit, qui fut adopté par les constructeurs de tous les pays et à qui on doit le développement de ce genre de moteurs.

Plus tard, en 1895, M. Boucherot donna deux nouvelles solutions du démarrage en charge.

Les procédés de M. Leblanc et les procédés de M. Boucherot forment un ensemble tel, qu'il paraît impossible de réaliser, pour arriver aux mêmes résultats, des dispositifs qui n'y soient pas implicitement compris : les brevets nouveaux pris dans cette direction ont toujours quelque lien d'étroite parenté avec les précédents.

M. Maurice Leblanc a montré, théoriquement en 1890, qu'on pouvait alimenter par du courant alternatif simple un moteur construit comme pour fonctionner avec du courant polyphasé, au moyen d'un dispositif spécial de démarrage.

E. Potier, membre de l'Institut, a donné, en 1894, la première étude analytique satisfaisante du fonctionnement de ce dernier type de moteur, ainsi que du type de moteur polyphasé ordinaire. Le travail de Potier a servi de base aux recherches ultérieures sur la même question et est passé dans l'enseignement.

M. Marcel Deprez a présenté à l'Académie des Sciences, en 1883, le principe d'une boussole électrique où est exposée, pour la première fois, la combinaison des flux magnétiques polyphasés, qu'on rencontre dans les moteurs à champ tournant.

Enfin, la réversibilité de ces derniers moteurs, c'est-à-dire la propriété qu'ils possèdent d'engendrer du courant alternatif dans certaines conditions, a été indiquée par M. Maurice Leblanc, en 1891.

Cette propriété, qui permet de concevoir l'alternateur asynchrone, a été utilisée pour le freinage tel qu'il est réalisé sur les lignes de traction à courants polyphasés : ce freinage ne permet pas l'arrêt, mais il règle la descente à vitesse constante, sans qu'il soit besoin de faire usage d'aucun frein mécanique.

La recherche du moteur asynchrone à courant alternatif simple, surtout en vue de la traction, a ramené l'attention sur les moteurs en série et les moteurs à répulsion. M. Latour a réalisé un type de moteur, différant des précédents, et qui est appliqué, depuis peu, avec succès, sur quelques lignes de traction, en particulier, sur la ligne du Borinage, dans le voisinage de Mons.

On peut considérer comme résolue l'alimentation directe des moteurs de traction par un courant alternatif simple, soit avec des moteurs en série à une fréquence peu élevée, soit avec des moteurs à répulsion ou avec des moteurs Latour, aux fréquences adoptées ordinairement pour l'éclairage.

Transformateurs.

Les distributions d'énergie par courant alternatif doivent leur succès au transformateur qui permet d'obtenir les rapports les plus extrêmes de tensions primaire et secondaire, avec un rendement voisin de l'unité à 2 ou 3 0/0 près, en pleine charge, sans le secours d'aucun organe mobile et dans les meilleures conditions possibles d'isolement.

Le transformateur n'est autre que l'ancienne bobine d'induction de Faraday et de Masson et Bréguet, munie d'un circuit en fer complètement fermé, ne donnant lieu qu'à des fuites magnétiques négligeables et appropriée, avec les ressources actuelles de la construction, à un service industriel.

Masson, professeur de physique des Lycées, avait connu notre Collègue Louis Bréguet, en poursuivant des recherches sur la Télégraphie : la possibilité de l'emploi d'un seul fil, avec la terre pour compléter le circuit, en vue de la transmission des signaux, a été indiquée simultanément en France, par Masson, et à Munich, par Steinheil, en 1838.

Le 23 août 1841, Masson et Bréguet présentèrent à l'Académie des Sciences le résumé des essais d'un appareil d'induction a fonctionnement continu : une roue à contacts et à interruptions périodiques manœuvrée à la main établissait et interrompait le courant primaire autant de fois et pendant aussi longtemps que le désirait l'opérateur. Cette répétition prolongée des phénomènes d'induction permit d'étudier ceux-ci, comme ils n'avaient pu l'être jusqu'alors et d'en tirer des effets nouveaux.

Dix ans plus tard, Ruhmkorff reprenait la bobine à deux circuits et arrivait en peu de temps à y adjoindre un interrupteur automatique à trembleur actionné pour le courant primaire, transformant l'appareil d'induction en une véritable machine.

Le nom de Bréguet évoque les débuts de la Télégraphie; la commission que présidait Arago et qui fut chargée d'étudier la ligne de Paris à Rouen avait délégué L. Bréguet à l'établissement de la première

ligne télégraphique de France, dont la mise en service eut lieu en 1846.

En 1847, à la suite d'un coup de foudre qui frappa la ligne télégraphique du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, Bréguet, dans une note adressée le 31 mai à l'Académie des Sciences, indiquait le principe du parafoudre à fil fin qui fut le premier coupe-circuit fusible.

J'ai eu l'honneur de connaître L. Bréguet : ses souvenirs concernant sa collaboration avec Masson et l'établissement de la ligne de Rouen nous sont restés avec la netteté qu'ils leur donnaient.

La préparation des circuits de fil fin de la bobine d'induction dont la longueur totale était de 1 300 m et dont il n'isolait, de sa main, que 10 m par jour, l'incertitude dans laquelle on se trouvait au sujet du métal à employer dans les lignes télégraphiques, de la forme et de la constitution des isolateurs et de la possibilité de transmettre des signaux simultanément sur des lignes portées par les mêmes supports, ainsi que les conseils d'Arago, dominaient sa mémoire.

MM. Marcel Deprez et Carpentier indiquèrent les premiers dès 1881 le rôle que pouvait jouer la bobine d'induction dans les transmissions d'énergie électrique comme élévateur et comme réducteur de tension. Au point de vue historique, le brevet est à lire : on demeure étonné d'y voir énoncé nettement le procédé qui permet l'usage industriel des plus hautes tensions.

L'année suivante, notre compatriote Gaulard et l'Anglais Gibbs brevetèrent « un nouveau système de distribution de l'Électricité pour servir à la production de la lumière et de la force motrice ». Cette invention consistait dans l'emploi d'un circuit parcouru par du courant alternatif et comprenant des bobines d'induction dont les circuits primaires étaient en série et dont les secondaires alimentaient des circuits indépendants.

Le soir du 25 septembre 1884, en présence du jury, pendant cinq heures sans arrêt, un alternateur situé à Lanzo fut relié par des générateurs secondaires de Gaulard et Gibbs à une partie de l'éclairage de l'Exposition de Turin: la longueur du circuit total atteignait 80 km et la tension a Lanzo était d'environ 2 000 volts efficaces.

Un prix de 10 000 francs récompensa cet essai qui donna l'essor à l'emploi industriel de la bobine d'induction devenue depuis le transformateur. Le souvenir de Gaulard est rappelé à Lanzo par un médaillon en marbre, hommage des Ingénieurs italiens.

M. Semenza nous a rappelé, l'année dernière, que peu à près Lanzo-Turin, Gaulard avait reproduit les mêmes essais entre Tivoli et Rome. Or, actuellement, cette dernière ville est alimentée d'Énergie électrique par une puissante usine à courant alternatif qui utilise les chutes de Tivoli.

La distribution en série adoptée par Gaulard et Gibbs ne pouvait satisfaire automatiquement avec une simplicité suffisante à un service variable, mais elle avait mis en valeur la bobine d'induction comme organe de transformation; on trouva rapidement le mode de distribution auquel elle s'applique le plus simplement et qui consiste à la brancher en dérivation sous tension constante.

Éclairage Électrique.

L'illustre Foucault, membre de notre Société, fut un des précurseurs de l'Éclairage électrique.

En 1843, apparut la pile de Bunsen; la même année, Foucault, qui commençait ses études médicales, s'en servit pour l'appliquer au microscope solaire et, en avril 1844, il présenta à l'Académie des Sciences en commun avec son professeur le docteur Donné, le microscope photo-électrique.

Le fonctionnement de l'arc électrique tirait sa régularité de la qualité des électrodes. C'est à cette époque que Foucault substitua des baguettes prismatiques carrées de 2 à 3 m m de côté, taillées par le lapidaire dans du charbon de cornue à gaz, aux cônes de charbon de bois éteint sous le mercure, et dont on s'était servi jusqu'alors. La difficulté du réglage à la main des porte-charbons et les ophtalmies qui en résultaient pour les opérateurs, conduisirent Foucault à son régulateur automatique présenté en janvier 1849 à l'Académie des Sciences.

Dans un article publié en 1852, Foucault s'exprime ainsi :

« On commence déjà à parler de l'Éclairage électrique, et les personnes amies du progrès se plaisent à devancer en imagination l'époque ou l'Électricité, se substituant au gaz carboné, émanera d'un Électromoteur central et circulera dans des conducteurs ramifiés, pour alimenter, de distance en distance, des foyers de lumière blanche et vive ».

Le rêve du physicien est réalisé.

Le régulateur de Foucault resta à peu près confiné dans le laboratoire et les jeux de scène au théâtre: il présentait le grave inconvénient de ne pouvoir être allumé à distance.

Victor Serrin, chargé du service de la lumière électrique au chantier de reconstruction du Pont Notre-Dame, en 1853, imagina un régulateur affranchi de ce dernier inconvénient et comportant quelques améliorations sur le précédent.

Pendant près de vingt-cinq ans, l'appareil de Serrin, constamment travaillé par son inventeur, fut le seul régulateur en usage dans l'industrie.

Vers 1859, on songea à substituer aux piles des machines magnéto-électriques de l'Alliance dont les courants étaient redressés pour alimenter les régulateurs. Ce redressement donnait lieu à des étincelles destructives aux bagues fendues en contact avec les balais : ces organes étaient rapidement avariés. Le professeur Masson, collaborateur de Bréguet et dont j'ai déjà cité le nom, conseilla la suppression du redressement et l'alimentation directe des arcs voltaïques organes, par le courant alternatif.

Un essai, dans ce sens, eut lieu en 1860 dans les essais de la Compagnie de l'Alliance; le 22 février 1861, deux lampes électriques étaient installées sur l'Arc de Triomphe du Carrousel et alimentées par deux machines de l'Alliance dont les courants n'étaient pas redressés.

Grâce à l'obligeance de notre collègue M. Henri Serrin, j'ai eu entre les

mains les notes personnelles de V. Serrin, consignées au jour le jour depuis 1858 ; les dates ci-dessus en sont extraites.

J'y ai trouvé aussi que, les 15 et 19 mars 1862, notre ancien président, M. Brüll essaya dans les ateliers du 186, rue du Temple, vingt régulateurs Serrin, qu'il employa dans le Guadarrama, aux travaux des chemins de fer du Nord de l'Espagne, et dont il exposa les bons services dans un rapport publié à la fin de la même année.

Notre Collègue M. Louis Sautter, associé de notre Collègue P. Lemonnier, proposa à l'Administration des Phares l'emploi des régulateurs électriques : les optiques de la Hève furent calculés spécialement, et à cet effet, M. Louis Sautter imagina des procédés permettant de donner à l'assemblage des lentilles une précision imposée par la faible dimension de la source lumineuse.

En 1863, le phare sud de la Hève fut équipé avec un régulateur Serrin et une machine de l'Alliance marchant au régime d'environ 20 ampères sous 50 volts efficaces. Deux ans après, le phare nord était équipé de même.

Le 13 février 1867, V. Serrin essaya un appareil établi pour fonctionner sous l'eau sur la demande de Denayrouse, l'inventeur du scaphandre : un régulateur était enfermé dans une boite étanche munie d'une soupape d'échappement des gaz. Dans cet essai V. Serrin remarqua que l'usure des charbons, avec un « éclairage très puissant était moitié moindre qu'à l'air libre» : on peut y voir l'apparition industrielle de l'arc en vase clos, aujourd'hui si répandu.

Les régulateurs Serrin ont été employés pendant la guerre de 1870 et surtout au siège de Paris.

Pendant la guerre d'Italie, au mois de juillet 1859, M. Louis Sautter réalisa le premier faisceau de projecteur électrique au moyen d'une lentille de premier ordre qu'il monta au sommet de l'Arc de Triomphe avec une lampe Serrin alimentée par une batterie placée dans le monument : on éclairait ainsi l'avenue de l'Impératrice jusqu'à 500 ou 600 m.

Le premier projecteur fut construit en 1867 pour le yacht du prince Napoléon la « Reine Hortense ». Cet appareil servit pendant la campagne d'exploration de ce bâtiment dans les mers du Nord.

Les projecteurs furent construits d'après le même principe jusqu'en 1877, époque à laquelle le colonel Mangin réalisa, du premier coup avec succès, son remarquable miroir aplanétique, adopté depuis par toutes les marines et toutes les armées.

Le véritable créateur de la fabrication des charbons pour la lumière électrique fut notre Collègue Ferdinand Carré. Jusqu'en 1868, ces charbons étaient obtenus suivant le procédé de Foucault; ils étaient peu homogènes, et d'un prix élevé.

« A cette époque, dit M. le général Sebert dans un rapport lu en » juillet 1890 à la Société d'Encouragement, Carré fit connaître, dans » une note adressée à l'Académie des Sciences, un mode de production » supérieur aux précédents.

» Plus tard, en se préoccupant des moyens de rendre la fabrication » plus économique, il imagina la filière pour laquelle il prit un brevet en » 1876, et il perfectionna successivement tous les détails de la fabrica-

» tion. Ces perfectionnements ont porté tant sur la composition de la » pâte charbonneuse et sur le choix du liquide agglutinant que sur » l'utilisation de procédés ingénieux pour le chauffage, le séchage et » l'imprégnation des charbons à chaud, avec l'intervention du vide et » de la pression. C'est grâce à ces perfectionnements et à ces procédés » que l'emploi des bougies Jablochkhoff fut rendu possible.

. . . . . .

» Pour modifier la couleur de l'arc et éviter les projections de parti- » cules incandescentes des couches superficielles, Carré fut conduit suc- » cessivement à imaginer les charbons creux, munis d'une âme de » composition différente, puis un procédé d'imprégnation du charbon » au moyen de sels divers, et l'enlèvement de ces sels des couches ex- » térieures par dissolution, de façon à ne conserver que le cœur imprè- » gné. Des brevets de 1878 et 1886 concernent ces perfectionnements; » il put ainsi obtenir des charbons à lumière rouge. »

Ce résumé des travaux de Carré semble être un exposé des usages actuels, y compris celui des arcs à flamme rouge dont la vogue est récente.

M. Joubert, en 1879, a le premier montré, par une méthode stroboscopique souvent reprise depuis, la formation et l'extinction de l'arc électrique à courant alternatif au cours d'une demi-période.

M. Blondel s'est livré à d'importantes recherches sur l'arc au point de vue photométrique et au point de vue du fonctionnement.

Électrolyse. — Électrométallurgie.

Le physicien Despretz présenta, en 1860, à l'Académie des Sciences, le couple plomb oxydé-plomb réduit-acide sulfurique de Gaston Planté. Ce couple, à régénération électrolytique, se distinguait des autres éléments de pile par sa force électromotrice élevée et sa faible résistance intérieure; il était capable d'un débit élevé pendant un temps court. Cette propriété en développa rapidement l'emploi dans les laboratoires et aussi dans quelques cas industriels.

La formation des électrodes du couple Planté (oxydations et réductions successives) était longue et coûteuse.

Camille Faure breveta, en 1880 et en 1881, une nouvelle pile secondaire qui n'était autre qu'un couple Planté à oxydes rapportés sur des électrodes pour en accélérer la formation. L'étiquette commerciale d'accumulateurs fut accolée à l'invention de Faure.

Tous les accumulateurs au plomb dérivent du couple Planté et de l'accumulateur Faure.

Dès 1872, notre collègue M. Bouilhet, avec l'aide de Gramme et de M. Fontaine, obtenait, annuellement, un dépôt de 6 000 kg d'argent dans les ateliers Christofle au moyen de dynamos Gramme.

Celles-ci furent ensuite appliquées à l'affinage du cuivre, en France et en Allemagne : à cette époque, c'est-à-dire entre 1872 et 1877, il parut que l'électrolyse était l'un des principaux débouchés des dynamos.

Notre collègue M. Louis Clerc imagina, en 1880, une lampe à arc dite *Lampe Soleil*, fonctionnant avec du courant alternatif, et dans laquelle il

espérait obtenir un rendement élevé avec une grande stabilité d'éclat. Les charbons s'appuyaient sur un bloc plus ou moins réfractaire, par leurs extrémités entre lesquelles se formait l'arc. M. Clerc en tira l'année suivante son four électrique, où les charbons sont entourés par la matière réfractaire, formant capacité à réverbère autour de l'arc.

Les fours électriques, où on a obtenu les plus hautes températures, c'est-à-dire, des températures voisines de 3 500 degrés et la fusion de la chaux, sont postérieures à l'invention de M. Clerc.

Le nom de notre Collègue doit être inscrit en tête de l'histoire des secteurs électriques de Paris, dont il fonda, tout seul, la première et modeste usine dans un immeuble du faubourg Montmartre. Cette usine appartient au secteur qui éclaire notre hôtel. *(Applaudissements.)*

M. Minet et notre Collègue M. Héroult brevetèrent les premiers, presque à la même époque, en 1887, les procédés d'électrolyse par fusion ignée employés universellement depuis, pour la fabrication de l'aluminium, et en particulier aux usines de Saint-Michel-de-Maurienne, La Praz, Froges et Gardannes, en France, et de Neuhausen, Rheinfelden, Land-Gastein et Toyers.

Avant le procédé Sainte-Claire-Deville, le kilogramme d'aluminium valait 3 000 f ; après, il est tombé à 300 f puis à 80 f, jusqu'à l'apparition des procédés Minet et Héroult qui le livrèrent entre 3 et 4 f.

Aujourd'hui, la construction des automobiles et la métallurgie absorbent annuellement un tonnage important de ce métal, dont la production mondiale annuelle est de 10 à 12 000 t.

Les travaux de MM. Gall et de Montlaur aboutirent, en 1886, à un procédé de fabrication électrolytique du chlorate de potasse mis en œuvre aujourd'hui aux usines de Francoz en Savoie, et de Vallorbe en Suisse.

M. Bullier obtint, en 1890, au four électrique, de la réaction du charbon et de la chaux, une production irrégulière de carbure de calcium ; il arriva peu à peu, en 1894, à obtenir ce corps pur et cristallisé. On sait l'importance actuelle de cette fabrication.

MM. Girard et Street se sont appliqués à la transformation industrielle du charbon en graphite par l'arc électrique. On savait depuis longtemps, et Foucault avait le premier remarqué, en 1844, que cette transformation s'effectue à la pointe des charbons des lampes à arc. Mais on n'avait ni les dynamos, ni les fours électriques, ni les débouchés du graphite. Depuis 1893 et 1894, MM. Girard et Street produisent du graphite pour les usages industriels les plus divers.

Notre collègue Jules Garnier, poursuivant la recherche d'un procédé pour la carburation superficielle des plaques de blindage, obtint, en 1893, sous l'action d'un courant électrique, dans une enveloppe réfractaire chauffée extérieurement au coke, à une température voisine de 700 degrés, un transport du carbone dans le sens du courant et sa dissolution dans du fer. Cette dissolution s'effectuait malheureusement avec trop de facilité, et il était presque impossible de ne pas obtenir de la fonte. Les recherches ne furent pas continuées : elles méritent d'être reprise méthodiquement au double point de vue scientifique et industriel.

Application de l'Électricité a la Mécanique.

Notre collègue Achard inventa, en 1859, pour le réglage de l'alimentation des chaudières, un embrayage électrique qui fut essayé dans les ateliers d'Eugène Bourdon. Cet essai n'était en réalité qu'une vérification préliminaire en vue de l'application du même embrayage au serrage des freins des wagons.

En 1864, le frein continu Achard fut mis en service pendant plusieurs mois sur l'express de Strasbourg, et sur quelques trains des Chemins de fer belges. Le fonctionnement en fut très satisfaisant, ainsi que l'atteste le rapport du Prix Montyon, décerné par l'Académie des Sciences à Achard en 1865. Les essais ne furent pas régulièrement poursuivis: Achard était venu trop tôt.

Son système était simple, peu coûteux et d'un réglage facile. Dans le fourgon de tête et dans le fourgon de queue du train (en cas de rupture d'attelage), se trouvaient les sources de courant composées d'éléments Daniell chargeant lentement des couples Planté, seuls mis en circuit pour les manœuvres. L'automaticité pouvait être obtenue.

En 1880, lors d'une discussion qui eut lieu à l'une de nos séances, sur les mérites respectifs des différents freins continus, le Président en exercice Gottschalk fit remarquer que la simplicité du frein Achard conviendrait particulièrement aux trains de marchandises; or, on sait que, actuellement, la généralité de ces trains n'est pas encore munie de freins continus.

Gramme, M. H. Fontaine et Niaudet furent les initiateurs de l'application des dynamos aux machines.

Le jour de l'Ascension de l'année 1879, à Sermaize (Marne) M. Félix et notre Collègue M. Chrétien firent, devant de nombreux assistants, avec des moteurs électriques Gramme, des essais de labour qui constituent la première application de l'électricité au matériel agricole.

Deux treuils électriques automoteurs placés respectivement à chacune des extrémités des sillons, tiraient, à la vitesse de 40 à 50 m par minute, une charrue Brabant double; la largeur des sillons était de 30 cm et leur profondeur de 20 cm.

L'ensemble du système était aussi bien, sinon mieux conçu que tout ce qui a été fait depuis pour le labourage électrique, encore aujourd'hui à l'état d'exception, mais qui se développera et deviendra d'un usage courant, quand les exploitations agricoles seront reliées à des distributions d'énergie.

Notre Collègue M. J. Raffard, mort en 1898, fut pendant plus de vingt ans l'ami et le collaborateur de beaucoup d'électriciens auxquels il apporta sa science de la construction mécanique et son ardeur à l'étude des questions nouvelles.

Des travaux divers qu'il a laissés, et dont quelques-uns sont devenus classiques, le meilleur titre à notre souvenir restera la création de la première voiture de tramway à accumulateurs en collaboration avec Faure.

Un peu avant l'Exposition de 1881, Faure et Raffard avaient demandé

à la Compagnie Générale des Omnibus de Paris de leur prêter une voiture de tramways pour la transformer en voiture électrique.

Par suite de vicissitudes diverses, comme par exemple la non-livraison du moteur, la voiture ne put être équipée qu'à la fin de 1882; les essais officiels eurent lieu au printemps suivant.

La Compagnie des Omnibus avait imposé que la voiture à accumulateurs pût dérailler par ses propres moyens, en cas d'encombrement de la voie, et rouler sur la chaussée; on devait aussi pouvoir, en cas d'avarie au système électrique, remettre la voiture à traction de chevaux en quelques minutes. Raffard satisfit avec succès à ces conditions par les moyens les plus simples : avant-train à roues indépendantes et à direction commandée par un volant à main, roues d'arrière motrices mais indépendantes commandées par des chaines démontables reliées aux pignons d'un renvoi intermédiaire à différentiel.

Cette voiture, qui a porté jusqu'à 6 t d'accumulateurs, a pu faire le voyage de Paris-Place de la Nation à Versailles et retour avec plus de quarante voyageurs. Plusieurs fois, encore munie de la flèche en cas d'avarie et suivie des meilleurs paires de chevaux de la Compagnie, elle circula sur les boulevards extérieurs, déraillant place du Trocadéro et descendant sur la chaussée avec ses freins pour venir reprendre les rails au pont de l'Alma.

Les promoteurs de l'entreprise exagéraient ces essais à outrance, malgré Raffard, et, un certain jour, cette voiture, audacieusement conduite jusque dans la cour du Grand-Hôtel, s'y enfonça.

Malheureusement, la traction par accumulateurs, impossible dans certains cas, s'est peu développée.

Il n'en reste pas moins que la voiture de Faure et Raffard fut la première de son genre.

L'accouplement à bagues de caoutchouc, étudié par Raffard, pour les premiers groupes électrogènes de la « Champagne » et de la « Bretagne », sont universellement employés en raison de ces deux qualités si précieuses aux électriciens : commande élastique et isolante.

Quand la Compagnie du Chemin de fer Baltimore et Ohio entreprit la traction électrique sous le tunnel de Baltimore, elle adopta la commande directe des essieux par les moteurs au moyen d'accouplements élastiques qu'elle estima être compris dans l'invention de Raffard, bien que celle ci ne fût pas protégée aux États-Unis.

L'œuvre de Raffard n'est pas de celles qu'on peut détailler : elle s'est manifestée surtout dans l'étude et la forme des organes des machines, et on en retrouve l'influence dans les constructions actuelles.

On connait le touage sur chaine noyée établi sur la Seine par notre ancien Président, M. Molinos, et par notre Collègue, M. Pronnier. En vue de supprimer les deux tambours de treuils et les tours de chaine qui s'y enroulent et constituent une difficulté d'exploitation, notre Collègue, M. de Bovet, a imaginé, en 1891 et en 1892, un procédé d'adhérence magnétique de la chaine sur une poulie où elle ne s'enroule que d'une fraction de tour, et un embrayage magnétique. Le toueur peut être libéré de sa chaine par une manœuvre courte et facile; les embrayages magnétiques permettent soit la mise en mouvement de la poulie de

tonage, soit celle des hélices pour la marche hors chaîne. Quatre toueurs de ce système sont en service depuis plus de dix ans entre Paris et Conflans.

Si un jour les chemins de fer reprennent l'étude des freins continus électro-magnétiques, nous verrons reparaître certains des dispositifs de M. de Bovet qui, ayant étudié cette question au moment où les notions de circuit magnétique et de force magnétomotrice entraient dans l'industrie, a donné aux éléments de ses embrayages et de ses freins des formes dont il est difficile de s'écarter.

Le premier chantier où le transport et la mise en place des matériaux de construction aient été effectués électriquement est celui de l'avant-port de Bilbao, établi en 1890 par notre Président, M. Coiseau, et nos Collègues, MM. Couvreux et Allard. On y voyait, dès cette époque, trois appareils, bardeur, truck et transbordeur de 100 t, dont M. Coiseau nous a donné la description. Ces appareils ont précédé de plusieurs années les appareils de puissance comparable construits à l'étranger.

Depuis cette innovation, il n'y a pas de chantier important qui ne soit ainsi équipé : notre visite à Bruges nous en a fourni un exemple.

La manœuvre électrique des tourelles cuirassées à bord des navires, ou à terre, paraissait, en essence, inférieure à la manœuvre hydraulique. En fait, le contraire a été révélé. Mais pour arriver à un pointage exact, nécessitant un fonctionnement sans à-coup, il a fallu modifier la tourelle elle-même.

Les premières tourelles électriques ont été étudiées par notre ancien Président, M. Canet. Vers 1891, M. Canet a heureusement substitué aux anciennes tourelles non équilibrées en usage avec la manœuvre hydraulique, des tourelles équilibrées donnant lieu à un moment de rotation constant et sur lequel quelques degrés de bande n'ont qu'une faible influence; le moment est ainsi réduit à un minimum et permet la manœuvre auxiliaire à bras, si importante pendant le combat, et impossible avec la machinerie hydraulique.

Notre ancien Président, M. Baudry, a établi, en quelques semaines, vers la fin de 1893, une ligne à traction électrique, près de Saint-Étienne, entre Montmartre et la Béraudière et qui fut le premier chemin de fer, en France, à prise de courant sur rail isolé avec emploi des rails de roulement comme conducteurs.

Cette ligne, qui n'avait été improvisée que pour fonctionner pendant quelques mois, est restée en service pendant plusieurs années, assurant le transport de la houille des puits de Montmartre et de la Béraudière jusqu'au plan incliné du Clapier, aujourd'hui disparu.

Enseignement électrotechnique.

Le cours d'Électricité industrielle a été fondé à l'École Centrale en 1886 et professé depuis cette époque par notre Collègue, M. Monnier; des cours analogues sont professés à l'École Nationale supérieure des Mines, par notre Collègue, M. Maurice Leblanc, et à l'École Nationale des Ponts et Chaussées par M. de Nerville et notre Collègue, M. Picou.

Les Écoles Nationales d'Arts et Métiers ont, dans leurs deuxième et troisième divisions, un cours d'Électricité.

L'École supérieure d'Électricité, fondée en 1894 par la Société internationale des Électriciens, sous l'inspiration de M. Mascart, et dont l'enseignement ne comprend qu'une année d'études, a pour but de parfaire, dans cette spécialité, l'instruction des Ingénieurs sortant des Écoles ou ayant déjà passé par la pratique. La direction et le cours d'Électrotechnique générale en sont confiés à M. Janet, professeur à l'Université; parmi les conférenciers, nous avons nos Collègues, MM. Picou, Bochet, Grosselin et Mazen.

Le cours d'Électricité de l'École de Physique et de Chimie de la Ville de Paris est professé, depuis la création de cette institution, c'est-à-dire depuis vingt-cinq ans, par notre Collègue, M. Hospitalier.

Les Universités de Grenoble, de Lille et de Nancy se sont annexées chacune un Institut Électrotechnique. Les Universités de Lyon, Dijon, Marseille, Bordeaux, Clermont-Ferrand et Poitiers ont institué des cours et des exercices spéciaux d'Électrotechnique.

Enfin, il n'y a pas d'École professionnelle qui ne donne un complément d'enseignement du même genre, adapté au niveau de ses études.

MESSIEURS,

L'industrie électrique a pris naissance en France. Puis le progrès est venu de toutes parts, issu d'une activité scientifique et industrielle sans précédent.

Actuellement, les différences sont nivelées : les procédés généraux de construction et d'exploitation sont les mêmes partout. Les débouchés, c'est-à-dire l'ampleur du marché et la nature des besoins, seuls varient.

La France possède des Ingénieurs et des établissements de construction à la hauteur des plus grandes entreprises. Notre enseignement spécial est largement développé.

Nous pouvons donc compter sur nos propres ressources, et je vous demande, dans l'intérêt de notre Industrie, de bien vouloir vous en pénétrer.

INDEX

Dynamos.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 16 mai 1881. M. Marcel DEPREZ. Caractéristique.

Comptes rendus du Congrès d'Électricité de 1881 :

Annexe I. — M. Marcel DEPREZ :

Transport de l'énergie, p. 83.

Annexe III. — M. G. CABANELLAS :

Mémoire sur l'ensemble du problème du transport et de la distribution de l'énergie par voie électrique, et leur organisation automatique rationnelle, p. 123.

Machines électriques à courants continus, par Alfred NIAUDET. — J. Baudry, éditeur, 1881.

Traité élémentaire de la pile électrique, par A. NIAUDET. — J. Baudry, éditeur, 1878.

Téléphones et Phonographes. — J. Baudry, éditeur.

Dynamos à inducteurs mixtes ou compound.

Brevet Deprez-Carpentier, 5 avril 1881, n° 142.140.
Brevet Desroziers, 22 avril 1882, n° 148.547.
Brevet Brush, 4 juin 1878, n° 124.905.
Brevets Desroziers :
Machine électrique, 24 juin 1885, n° 169.746.
Genre de machine électrique, 11 juin 1886, n° 176.718.
Expériences Wiesbach-Munich, par M. Marcel Deprez. — 1883, *Lumière électrique*, vol. VII, p. 403.
Expériences La Chapelle-Bourget, par M. Marcel Deprez. — Février 1883, *Lumière électrique*, vol. VIII, p. 199.
Expériences Vizille-Grenoble, par M. Marcel Deprez. — 8 septembre 1883. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 10 septembre 1883.
Expériences de Creil, rapport de M. Maurice Lévy. — Académie des Sciences, 2 août 1886.
Expériences de transport de force au moyen de machines dynamo-électriques couplées en série, par M. H. Fontaine. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 26 octobre 1886, M. Mascart.
Nouveau galvanomètre, par MM. Deprez et d'Arsonval. — *Lumière électrique*, vol. IV, 1881, p. 309.
Mémoires sur l'électrodynamique, publiés par la Société Française de Physique (Ampère), tome II, 1885.

Alternateurs.

Études sur les machines magnéto-électriques, par M. J. Joubert, Professeur au Collège Rollin. — 1881, Gauthier-Villars, éditeur.
La synchronisation électro-magnétique, par M. A. Cornu, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes. — Société internationale des Électriciens, janvier 1894.
Brevet, n° 222.287, du 11 juin 1892, pour perfectionnements aux machines dynamo-électriques à courants alternatifs, par M. Maurice Leblanc (Amortisseurs).
Bulletin de la Société internationale des Électriciens :
Conditions de couplage des alternateurs, par M. Blondel.
MM. Leblanc et Boucherot : *Rapports sur le réglage de la vitesse des moteurs au point de vue du couplage des alternateurs*, 1901.

Moteurs à courant alternatif.

Brevet, n° 204.456, 19 mars 1890, pour une nouvelle machine dynamo-électrique pour courants alternatifs (induit à enroulements, résistances au démarrage).
Réversibilité des moteurs asynchrones, par M. Maurice Leblanc. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1891.
Brevets de M. Boucherot :
N° 247.437, 15 mai 1895, moteur γ.
N° 252.841, 30 décembre 1895, moteur α.
Moteurs Latour. — Société internationale des Électriciens, 1903, p. 299.
Sur le synchronisme électrique de deux mouvements relatifs, et son application à la construction d'une nouvelle boussole électrique, par M. Marcel Deprez. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1883, vol. II, p. 1193.

Transformateurs.

Notice sur L.-F.-C. Breguet, par M. de Jonquières. — Institut de France, séance du 5 juillet 1886.
Mémoire sur l'induction, par Masson et Breguet. — Académie des Sciences, séance du 23 août 1841. (*Comptes rendus*, vol. XIII, p. 426.)

Expériences de télégraphie sur la ligne de Rouen, lettre de L. Breguet à Arago. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, vol. XXII, p. 743.

Parafoudre à fil fin, par L. Breguet. — 1847, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, vol. XXIV, p. 980.

Système de transport de l'électricité à distance et sa transformation, brevet de MM. Deprez et Carpentier, n° 141.464, 3 mars 1881.

Un nouveau système de distribution de l'éclairage électrique, M. L. Clerc, brevet principal (belge) n° 55 923, du 10 octobre 1881 ; addition du 11 août 1882 (bobines d'induction en série ou en dérivation.

Nouveau système de distribution de l'électricité pour servir à la production de la lumière électrique et de la force motrice, par MM. L. Gaulard et J. D. Gibbs, brevet n° 151.458, du 7 octobre 1882.

Transport d'énergie de Turin à Lanzo. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 6 octobre 1884.

Éclairage électrique.

Mémoires de Foucault. — Gauthier-Villars, 1878.

P. 60, *Transformation du charbon en graphite dans l'arc électrique.*

P. 313, *Appareil destiné à rendre constante la lumière émanant d'un charbon placé entre les deux pôles d'une pile*, Académie des Sciences, 15 janvier 1849.

P. 317, *Sur les appareils fixateurs de la lumière électrique*, 1852.

Notes personnelles de V. Serrin, en possession de M. H. Serrin.

Rapport sur le régulateur automatique de la lumière électrique imaginé par M. Serrin. — Académie des Sciences, 10 mars 1862.

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale :

1861. *Examen du régulateur Serrin par le Comité des Arts économiques.*

Rapport de M. Le Roux sur *le Régulateur Serrin.* 26 décembre 1866.

Applications de l'électricité, par M. du Moncel. — Description de l'invention de Serrin, 1858.

Article du *Cosmos* relatant l'éclairage du Carrousel avec du courant alternatif non redressé, le 22 février 1861.

Note sur les travaux de M. L. Sautter, communiquée par M. G. Sautter.

Rapport fait par M. le Général Sebert sur les titres de M. Ferdinand Carré au Prix Giffard. — Société d'Encouragement, juillet 1890.

Électrolyse. — Électrométallurgie.

Couple Planté. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1860.

Nouvelle pile secondaire Faure. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 18 avril 1881. — Brevets Faure, 20 octobre 1880 et 9 février 1881.

Argenture Christofle par dynamos Gramme, Traité d'électrolyse, par M. H. Fontaine. — Baudry et C^ie^, éditeurs, 2^e^ édition, pp. 104 et 109.

Four L. Clerc, brevetê en Belgique le 9 juillet 1881.

Four Minet, brevet n° 185.765, du 10 septembre 1887.

Four Héroult, novembre 1887.

Aluminium pur :

Brevet Héroult, n° 175.711, avril 1886 et certificat d'addition, avril 1887.

Brevet Minet, n° 183.651, mai 1887.

Chlorate de potasse :

Brevet Gall et de Montlaur, n° 179.413, 1886.

Carbure de calcium :

Brevet Bullier, n° 236.160, février 1894 :

Graphite :

Brevet Girard et Street, n° 231.211, 29 juin 1893.

Jules GARNIER : *Action de l'électricité sur la carburation du fer par cémentation.* — Société internationale des Électriciens, 1893, p. 324 et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, même année.

Applications de l'électricité à la mécanique.

Embrayage électrique, par M. ACHARD. — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, année 1859, p. 179.

Académie des Sciences : Prix Montyon décerné en 1865 à M. Achard ; rapport de M. Chevreul.

Expériences de Sermaize par MM. Chrétien et Félix, 1879. — Lumière électrique, vol. I, p. 47.

Frein, par M. ACHARD. — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, II, p. 45.

Brevets de M. de Bovet :

N° 211.852, 3 mars 1891. De l'adhérence entre une chaîne et une poulie. Addition, 25 mai 1892, Appareil des canaux.

N° 216.469, 30 septembre 1891. Perfectionnements aux freins et embrayages. Addition, 14 avril 1892. Embrayage.

N° 218.951, 26 janvier 1892. — Frein électrique applicable aux chemins de fer.

Travaux du port extérieur de Bilbao, par M. L. COISEAU. — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, juillet 1900.

Revue des Chemins de fer, octobre 1894. — *Traction électrique de Montmartre à la Béraudière.*

II

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

A. Bécard, ancien Élève de l'École Centrale (1832), Membre de la Société depuis 1882, Ingénieur des Chemins de fer de l'Ouest-Algérien, Ingénieur-Conseil au Comptoir des Poutrelles, Répétiteur du Cours de résistance et Chef des Essais des matériaux à l'École Centrale, Arbitre rapporteur près le Tribunal de commerce, Expert près le Conseil de préfecture de la Seine, Membre du Comité depuis 1905 ;

J.-J. Buddingh, Membre de la Société depuis 1892, Directeur-propriétaire de la Manufacture royale Becker et Buddingh, Correspondant de la Société en Hollande ;

F. de la Brière, ancien Élève de l'École Polytechnique (1860), Membre de la Société depuis 1890, Secrétaire général de la Société d'Escaut et Meuse ;

V. Caillard, Membre de la Société depuis 1887, Constructeur de machines, ancien Juge au Tribunal de commerce, Membre de la Chambre de commerce du Havre ;

A. Leconte, ancien Élève de l'École d'Arts et Métiers d'Angers (1871), Membre de la Société depuis 1896, ancien Directeur de l'Usine Ed. Coignet et C^ie^, à Asnières ;

Ch.-Abel Le Marchand, Membre de la Société depuis 1900, Constructeur de yachts et embarcations diverses :

A. Pinart, ancien Élève de l'École Centrale (1869), Membre de la Société depuis 1878, ancien Directeur des Usines de Marquise ;

Ch. Pinat, ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées, Membre de la Société depuis 1902, Membre du Comité en 1904 et élu dans ces mêmes fonctions pour 1906, Maître de forges à Allevard ;

Ch. Pot, ancien Élève de l'École Centrale (1871), Membre de la Société depuis 1900, Ingénieur-Expert ;

J. Rouvière, ancien Élève de l'École Centrale (1864), Membre de la Société depuis 1885, Filateur ;

M. Bixio, ancien Élève externe de l'École des Mines (1858), Membre de la Société depuis 1864, Commandeur de la Légion d'honneur, Président du Conseil d'administration de la Compagnie Générale des Voitures à Paris et Administrateur des Chemins de fer du Nord de l'Espagne.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues, plus particulièrement à celles de MM. Bécard et Pinat, les sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

Officier de la Légion d'honneur : M. G. Dumont, notre ancien Président ;

Officier d'Instruction publique : M. G. Griffisch ;

Officiers d'Académie : MM. G. Blanc et A. Lumet ;

Grand officier du Mérite Civil de Bulgarie : M. G. Canet.

M. H. Faucher a été nommé Membre du Conseil supérieur des colonies.

L'Académie des Sciences a décerné à M. Canovetti la médaille Berthelot et le prix Wilde.

Enfin, M. P. Bodin, notre ancien Président, a été nommé, par M. le Ministre du Commerce, comme Représentant de la Société, Membre de la Commission technique du Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'à l'occasion de la communication de M. Seyrig sur le nouveau Pont de Commerce à Liège, notre Collègue, M. Chaudy, a adressé une lettre rappelant qu'en juillet 1889, dans le journal *le Génie Civil*, il a donné une étude théorique et pratique de ce genre d'arcs qu'il appelait *poutres discontinues et continues en arcs s'arc-boutant*.

M. Seyrig, sans contester le moins du monde l'étude rappelée par M. Chaudy, se borne à faire remarquer que, dans sa notice, il a, à plusieurs reprises, insisté sur ce fait que le pont de Liége était la première application de ce système et rien de plus.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que le quarante-quatrième Congrès des Sociétés Savantes s'ouvrira, à la Sorbonne, le mardi 17 avril prochain, et durera les 18, 19 et 20 du même mois.

Le Syndicat des Forces hydrauliques a ouvert un concours pour l'étude et la mise au point d'un appareil limiteur de courant. Les renseignements sont déposés à la bibliothèque de la Société.

L'Office Colonial fait connaître qu'il organise, avec le concours de notre Collègue, M. J.-M. Bel, une Exposition temporaire des produits miniers des colonies françaises.

Cette Exposition s'ouvrira, le 25 janvier, dans les locaux du Ministère des Colonies, galeries d'Orléans, Palais Royal. Les Membres de la Société qui auraient des collections provenant de nos possessions d'outremer, et qui consisteraient surtout en minerais et minéraux utiles à l'industrie, sont priés de participer à cette Exposition, en y envoyant les dites collections. Elles seront exposées, soit sous leur nom, soit sous celui des établissements ou de la collectivité à laquelle ils appartiendraient.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. G.-L. Angst, J. de Baralle, Ed. Barrier, J. Guillon, L.-P. Ochs, P. Latron, comme Membres Sociétaires Titulaires ; de :

MM. M.-L.-A. Bidaut et F.-S. Frédureau sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires.

La séance est levée à 11 heures cinq minutes.

L'un des Secrétaires techniques,
F. Clerc.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 19 JANVIER 1906

Présidence de M. A. Hillairet, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

G. Lévi, Ancien Élève de l'École Centrale (1879), Membre de la Société depuis 1881, Professeur à l'École Centrale, Ingénieur à la Compagnie Madrilène du Gaz;

William P. Trénery, Membre de la Société depuis 1890, Ingénieur Conseil;

J.-Ch.-M. Dorion, Ancien Élève de l'École Centrale (1859), Membre de la Société depuis 1874. A été successivement Ingénieur aux Mines de Mières (Espagne) et de Blanzy; Directeur des Mines de Dombrowa, de Bouquiès et de la Compagnie française du Laurium, ancien répétiteur et chargé du cours d'exploitation des Mines à l'École Centrale. En dernier lieu, Administrateur et Ingénieur Conseil de la Compagnie française des Mines du Laurium, Vice-Président du Conseil d'Administration des Mines de Bou-Thaleb, Ingénieur Conseil des Compagnies minières de Dombrowa et de Saint-Rémy.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les décorations et nominations suivantes. Ont été nommés :

Officier de la Légion d'honneur : M. L. Parent;

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. F. Sauvaget, H. Bertrand.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. le Président rappelle qu'une visite doit être faite à l'Usine de la Société de l'Air liquide, à Boulogne-sur-Seine, mardi prochain, 23 courant. Il engage ceux de ses Collègues désireux d'y assister, à se faire inscrire sans tarder davantage.

M. le Président dit quelques mots au sujet :

1° Des demandes d'admission qui vont être envoyées aux Membres de la Société; 2° des locations de salles pour Assemblées générales, et fait appel au concours de tous pour aider à augmenter le nombre des nouveaux adhérents ainsi que celui des réunions qui peuvent se tenir dans notre Hôtel.

M. le Président dit que, conformément aux Statuts, le Comité, dans sa séance de ce jour, a pourvu au remplacement de ceux de ses Membres appelés à d'autres fonctions ou décédés.

Ont été élus :

M. J. Kœchlin, membre de la deuxième Section pour deux ans;

M. H. Dufresne, secrétaire technique de la deuxième Section, pour trois ans;

M. G. Vésier, membre de la quatrième Section, pour deux ans;

M. G. Bousquet, secrétaire technique de la quatrième Section, pour trois ans;

M. Ch. Gallois, président de la cinquième Section, pour un an;

M. P. Besson, membre de la cinquième Section, pour un an;

M. F. Clerc, secrétaire technique de la cinquième Section, pour un an;

M. A. Larnaude, membre de la sixième Section, pour trois ans.

M. E. Bernardet a la parole pour sa communication sur le *funiculaire de Nancy*.

M. E. Bernardet rappelle d'abord que les systèmes de chemins de fer funiculaires pour montagne sont, en général, constitués par deux voitures attachées aux deux extrémités d'un même câble, enroulé autour d'une poulie fixée au sommet du plan incliné, de telle sorte que, tandis qu'une voiture monte, l'autre descend; le mouvement de transport est donc alternatif.

Ce système, exigeant un certain temps minimum entre deux départs consécutifs, n'a donc qu'une élasticité insuffisante.

Frappé de ces inconvénients, M. Bernardet a cherché à remplacer le mouvement alternatif par le mouvement continu.

Il y est arrivé au moyen du dispositif suivant : la traction est produite par un câble sans fin, enroulé sur deux poulies d'égal diamètre, dont l'une, placée au sommet du plan incliné, est motrice, tandis que l'autre, placée au pied du même plan, opère la tension.

Le câble de traction est double et formé de deux câbles jumeaux en fils d'acier fondu au creuset.

Ils sont placés l'un au-dessus de l'autre et réunis par des bagues plates, en deux pièces, boulonnées à 1,50 m de distance moyenne entre elles.

De deux en deux, ces bagues reposent, par l'entremise d'un galet, sur un rail central, soulageant ainsi le câble, et c'est en même temps sur ces bagues à galets que s'accrochent les voitures, les autres bagues ne servant qu'à l'entraînement du câble par la poulie motrice.

Cette dernière, en effet, est munie d'un certain nombre d'encoches dans lesquelles viennent se placer les bagues, formant ainsi une sorte de chaîne Galle.

Les voitures à voyageurs, à six places, reposent sur deux essieux et s'accrochent aux câbles au moyen de griffes mobiles suspendues à une barre mobile, manœuvrée elle-même, au moyen d'une poignée, par le conducteur. Cette griffe s'engage alors sur les bagues à galets et la voiture se trouve poussée à la montée et retenue à la descente.

Chaque voiture possède en outre des appareils de sécurité indépendants.

Aux deux stations, un transbordeur reçoit les voitures arrivant à destination et les transporte automatiquement sur l'autre voie après avoir dégagé la griffe de prise avec le câble. Si l'on met alors en prise la griffe et le galet, la voiture se trouve entrainée vers l'autre station.

De ce dispositif rapidement décrit, il résulte que l'on peut lancer successivement, aussi bien à la montée qu'à la descente, un nombre indéfini de voitures, sous la seule réserve de laisser entre chaque voiture une distance minima de 20 m.

Ce système donne donc une élasticité très considérable au point de vue du transport des voyageurs.

Le conférencier entre ensuite dans le détail de la construction des divers appareils : machine donnant le mouvement aux câbles, câbles et galets, voitures avec leurs appareils de prises et de sécurité, disposition générale de la ligne, etc.

Il termine en faisant remarquer que ce funiculaire est utilisé exclusivement pour une excursion de plaisir dans une propriété privée et que ce système semble devoir être assez économique, car pour une longueur de 229 m, l'ensemble des dépenses n'a pas dépassé 60 000 f et a permis de transporter, avec la moitié seulement du nombre de voitures prévues, une moyenne de 460 voyageurs à l'heure.

M. le Président remercie M. Bernardet de sa communication sur son intéressant système d'exploitation de funiculaire en chapelet et par conséquent très intensive. Elle répond aux besoins dont a parlé M. Bernardet pour les lieux élevés dans le voisinage des villes.

M. G. Hart a la parole pour sa communication sur le *Développement de l'application des turbines à vapeur à la propulsion des navires*.

M. G. Hart signale le développement rapide qu'a pris, depuis le commencement de 1904, l'application des turbines à vapeur à la propulsion des navires. Jusqu'à la fin de 1903, leur emploi avait été limité à des navires de déplacement restreint, mais aujourd'hui elles ont été appliquées à des navires de 30 000 tx et vont l'être à des navires encore plus grands et plus rapides.

Le total de la puissance développée par les turbines installées à bord des navires dépasse actuellement 600 000 ch. Cette puissance se répartit à peu près comme suit : turbines Parsons, plus de 590 000 ch; turbines Rateau, 4 à 5 000; turbines Bréguet à disques de Laval, 4 à 5 000; turbines Curtis, 4 à 5 000.

L'application des turbines à la propulsion des navires est donc moins développée que pour la conduite des dynamos, pompes et ventilateurs; c'est qu'elle présente plus de difficultés en raison de la présence de propulseurs de rendement variable suivant leurs conditions de fonctionnement, et soumis eux-mêmes à l'influence de la carène à laquelle ils sont adaptés.

Les conditions sont donc beaucoup plus défavorables qu'à terre, d'autant plus que le rendement du propulseur joue un rôle considérable

dans le rendement global de l'installation et peut même masquer le rendement réel de la turbine.

Le propulseur hélicoïdal a en effet besoin, pour atteindre un bon rendement de certaines conditions de fonctionnement, dont la principale est une vitesse modérée de rotation qui n'est pas toujours compatible avec le rendement économique de la turbine. Si cette vitesse dépasse une certaine limite, on tombe en effet dans les phénomènes connus sous le nom de cavitation, phénomènes qui paraissent dus à une pression exagérée sur l'aile.

Il se produit alors sur la face de celle-ci des cavités remplies d'air et de vapeur d'eau, de sorte que l'hélice agissant dans un milieu compressible, n'a plus qu'un rendement très faible et que la puissance employée pour la faire mouvoir est gaspillée en pure perte au détriment du rendement global du moteur et du propulseur.

D'autre part, l'impossibilité d'évaluer exactement la puissance développée laisse toujours dans l'esprit un doute sur les résultats réels obtenus et permet, par suite, toujours de les contester ou tout au moins de les discuter sans qu'on puisse apporter de précisions.

La principale objection faite aux turbines comme moteurs de navires est leur consommation de vapeur. Si elle est encore exacte pour les faibles vitesses, il n'en est plus de même pour les vitesses supérieures à 15 ou 16 nœuds. Pour ces vitesses, ainsi qu'on peut le voir par les exemples cités, l'économie est toujours sensible et croît avec la vitesse.

Une autre objection qu'en entend encore formuler est le poids et l'encombrement des appareils quand il s'agit de grandes puissances et de vitesses de rotation relativement faibles ; mais si on se reporte aux plans des machines alternatives de même puissance, on constate que le poids et le volume des turbines sont encore plus faibles et que, comme le déclarait dernièrement un Ingénieur naval très connu, les aléas d'établissement des turbines sont tout au moins de même ordre que ceux de ces énormes machines alternatives, sinon plus réduits.

Par contre, les turbines présentent de nombreux avantages sur les machines alternatives, notamment en ce qui concerne la réduction des forces d'inertie en jeu et des vibrations qui en sont la conséquence.

Pour obtenir de bons résultats dans l'application des turbines à la propulsion des navires, il ne faut pas séparer l'étude de la turbine de celle du propulseur qu'elle doit commander. Il faut étudier avec soin le service auquel est destiné le navire et, suivant les conditions de ce service, développer l'une ou l'autre des diverses qualités que présentent les turbines. La seule condition à observer est que le nombre de tours de la turbine permette le tracé d'un propulseur fonctionnant dans de bonnes conditions. Elle présente souvent des difficultés sérieuses à réaliser, car il faut pour cela que les courbes de rendement du moteur et du propulseur soient, en quelque sorte, synchrones par rapport au nombre de tours.

Pour arriver à réduire la vitesse de rotation de la turbine à celle qui correspond à un propulseur bien tracé, il est indispensable d'augmenter le diamètre de l'appareil pour laisser à la vapeur une vitesse d'écoulement suffisante. Le volume et le poids de l'appareil varient *grosso modo*

comme l'inverse du carré du nombre de tours, c'est-à-dire très rapidement. Aussi est-il difficile, pratiquement, de réduire la vitesse périphérique des roues à aubes au-dessous du tiers de la vitesse d'écoulement de la vapeur. Encore ce rapport ne peut-il être atteint pour de puissantes installations.

C'est donc là l'obstacle le plus sérieux au développement des turbines marines, puisqu'il empêche celles-ci, en raison du poids et du volume qu'elles auraient, à se prêter aux faibles vitesses de rotation.

Cependant, depuis deux ans, les progrès dans ce sens ont été très notables. Alors qu'en 1903 le nombre de tours oscillait encore entre 700 et 750, il s'est successivement abaissé, en 1904 et 1905, à 600, 500, 400 et 300, pour tomber à 180 pour les puissants appareils prévus pour les nouveaux paquebots de la Compagnie Cunard.

M. Hart passe en revue les diverses installations réalisées, depuis le commencement de 1904, avec les turbines Parsons, Rateau, Breguet et Curtis, les seules qui, jusqu'ici, aient été appliquées à la propulsion des navires.

Il signale, pour chacune de ces installations, les progrès réalisés sur les installations précédentes, et s'étend un peu plus longuement sur certaines applications dont on possède des données certaines et qu'on peut, par suite, discuter, notamment sur les turbines du *Londonderry*, du *Manxman*, de l'*Amethyst*, qu'il est possible de comparer aux machines alternatives de navires de mêmes dimensions et de mêmes formes.

En terminant, M. Hart dit qu'il n'est pas possible de tirer encore des conclusions fermes de l'étude qui vient d'être faite, en raison du petit nombre d'applications pour un certain nombre de types de turbines; on peut toutefois résumer l'état actuel de la question et indiquer les conditions favorables ou défavorables que présentent les divers types.

Aujourd'hui, c'est la turbine à réaction qui a reçu, et de beaucoup, le plus grand nombre d'applications; il y a donc des raisons pratiques qui font pencher en sa faveur.

Sa simplicité relative de construction, ses faibles dépenses d'entretien et de réparation, sa régularité de fonctionnement dont l'auteur de cette étude a été témoin, sa consommation de vapeur, avantageuse pour les cas où elle a été appliquée, c'est-à-dire pour des vitesses voisines de 18 nœuds ou dépassant ce chiffre, sont certainement pour beaucoup dans son développement.

A ces considérations pratiques, qui industriellement ont leur importance, viennent s'ajouter d'autres considérations tenant plus de la théorie, et qui expliquent les bons résultats obtenus.

Les veines fluides les plus stables et les plus homogènes sont celles données par les tuyères convergentes. Elles sont beaucoup moins troublées par les circonstances extérieures que les veines à section constante ou croissante. Il y a donc dans la turbine à réaction, la seule qui emploie pour les aubages de toutes les roues des conduits à section décroissante, un écoulement plus régulier de la vapeur, les veines étant moins troublées par les jeux nécessaires entre les roues. L'admission totale, en supprimant les remous dus au choc de la vapeur vive arrivant des distributeurs et celle stagnante qui reste dans les aubages des roues mo-

biles avec l'admission partielle vient encore régulariser cet écoulement.

Enfin, la poussée axiale qui, à terre, peut présenter des inconvénients et doit être combattue par des pistons d'équilibre, fort simplement d'ailleurs, a l'avantage à bord de permettre la suppression du palier de butée, cet organe si encombrant et qui demande tant de soins. Elle est, en effet, à très peu près égale et de signe contraire à la poussée du propulseur, de sorte que les coussinets de réglage de la turbine n'ont qu'une très faible différence de pression à supporter.

Il semble donc qu'actuellement c'est la turbine à réaction qui doit être préférée pour la propulsion des navires, d'autant plus que c'est la seule qui ait permis jusqu'ici de réduire le nombre de tours, condition indispensable pour le tracé de propulseurs convenables.

Un seul inconvénient, commun d'ailleurs à toutes les turbines, est de ne pas être économique aux faibles vitesses, mais la vitesse critique à ce point de vue est abaissée sensiblement plus bas que pour les autres types de turbines et on peut espérer que, grâce à de nouveaux perfectionnements, on pourra bientôt construire des turbines à faible vitesse de rotation convenables pour la classe si nombreuse des cargo-boats.

La turbine propre à de grandes variations de vitesse, tout en restant dans des conditions économiques admissibles, sera beaucoup plus difficile à réaliser et on n'entrevoit guère qu'une modification profonde dans le tracé des aubages et certaines modifications dans l'admission qui puissent conduire à ce résultat dont on s'est cependant notablement rapproché dans ces deux dernières années.

Quoi qu'il en soit, les progrès réalisés depuis deux ans et les nombreuses applications réalisées montrent que les progrès sont incessants et que l'emploi des turbines à la propulsion des navires est une question des plus intéressantes pour la marine.

M. le Président remercie M. Hart de sa communication si intéressante et très documentée. Il espère que l'on pourra organiser sur cette question de l'application des turbines une discussion à laquelle les constructeurs français pourront prendre part et nous exposer ce qu'ils ont fait.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. P.-A. Aubry, P.-F. Barré, P. Frot, P. Gadot, A. Javal, N. Kamenetsky, P.-Ch.-E. Leroux, D. Lykiardopulo, L.-J. Petit, P. Piekel, L. Renault, R. Rousseau, comme Membres Sociétaires titulaires; de MM. A.-I. Cahen et R. Hochstetter, comme Membres Sociétaires assistants, et de MM. A. Duteurtre et E. Kiener, comme Membres associés.

MM. C.-L. Angst, J. de Baralle, E. Barrier, J. Guillon, P. Latron et L.-P. Ochs sont admis comme Membres Sociétaires titulaires.

La séance est levée à 11 heures et demie.

L'un des Secrétaires techniques,
F. Taupiat de Saint-Simeux.

FUNICULAIRE ÉLECTRIQUE DE NANCY

PAR

M. G.-E. BERNARDET

Systèmes actuels de chemins de fer funiculaires de montagne. Manque d'élasticité du débit. — Les différents systèmes de chemins de fer funiculaires de montagne, affectés jusqu'ici au transport des voyageurs, sont constitués par deux voitures attachées aux deux extrémités d'un même câble, enroulé autour d'une poulie fixée au sommet d'un plan incliné; quand l'une des voitures monte, l'autre descend, et inversement.

Le mouvement est donc alternatif, et la quantité de voyageurs transportés à l'heure dépend du nombre de places des voitures et de la durée du trajet.

Quand l'affluence des voyageurs est à peu près la même à toutes les heures de la journée, il est facile de déterminer le nombre de places nécessaires, de façon à utiliser avantageusement le matériel, mais quand il s'agit de desservir un point de vue, un hôtel dans un site isolé, ou tout autre lieu d'excursion auquel le public ne se rend en foule qu'à certains jours et à certaines heures, ces systèmes de funiculaires n'ont pas une élasticité suffisante.

S'ils sont calculés pour répondre aux grandes affluences, ils sont, par contre, d'une exploitation ruineuse en temps ordinaires; il n'y a pas à songer à un moyen terme qui limiterait le nombre de places, car alors les voyageurs seraient astreints à une si longue attente qu'ils perdraient patience et préféreraient effectuer le voyage à pied. Ce serait le discrédit jeté sur l'entreprise et son échec certain.

Emploi du mouvement continu au funiculaire de Nancy. Ses avantages. — Ces inconvénients sont inhérents à l'emploi du mouvement alternatif, dont les résultats sont limités; le remède est : le remplacement du mouvement alternatif par le mouvement continu; c'est ainsi du reste que l'on opère dans toutes les industries quand on veut obtenir un rendement intensif.

C'est ce mouvement continu que j'ai appliqué au funiculaire

de Nancy. J'ai adopté des voitures légères, d'un petit nombre de places, se succédant rapidement, et circulant en chapelet d'une façon ininterrompue.

Le nombre des voitures mises en circulation peut varier, et toujours être proportionné à la quantité des voyageurs.

Le minimum des voitures en circulation est : une sur la voie montante et une sur la voie descendante, et le maximum n'est limité que par la longueur de la voie et la vitesse du mouvement, de façon que les voitures se succèdent de vingt en vingt secondes, temps largement suffisant pour permettre l'accès des voitures aux voyageurs.

Un grand avantage résulte de cette disposition : celui de l'assurance donnée au public de trouver toujours une voiture prête à partir, ce qui supprime l'ennui de l'attente au départ.

Cette facilité de transport étant connue, l'usage du funiculaire se répand rapidement, et les recettes grossissent dans des proportions inespérées.

Ce phénomène n'est, du reste, pas spécial aux funiculaires, il est vrai pour toutes les entreprises de transport qui ont un service de départs assez fréquents pour contenter l'impatience du public.

Quant au débit, il est très important :

Avec des voitures à 6 places, et un départ chaque vingt secondes, le nombre des voyageurs transportés dans chaque sens est de 1 080 à l'heure; avec des voitures à 9 places — tout aussi faciles à manier — le débit à l'heure est de 1 620 voyageurs dans chaque sens.

Ces chiffres montrent quel trafic intense est obtenu, et prouvent que ce système peut répondre aux plus grandes affluences de voyageurs.

D'un autre côté, l'emploi d'un matériel de transport léger, à petit nombre de places, permet de construire la voie économiquement, en adoptant des rails également légers et une voie étroite.

Comme conséquence, la largeur de la plate-forme est petite, et le terrain nécessaire à l'établissement de la ligne peu coûteux.

Les réactions des roues des voitures sur les rails étant proportionnées aux charges qu'elles supportent, charges qui dans ce cas sont faibles, il en résulte que la stabilité de la voie est très facile à assurer, sans qu'il soit besoin de recourir à des travaux extraordinaires.

Le même avantage se présente pour la construction des appareils de sécurité, qui n'ont, en cas d'accident, qu'à absorber une force vive relativement peu importante.

Un autre avantage de la répartition des voitures sur le câble est de pouvoir fonctionner sur un plan incliné très concave. La chaînette du câble pouvant avoir pratiquement une très grande flèche, dans bien des cas, l'adoption d'un profil en long de la voie — très creux — fera réaliser de sérieuses économies d'infrastructure.

Mécanisme de traction. — Le chemin de fer funiculaire que j'ai construit à Nancy pour desservir la Cure-d'Air Saint-Antoine, repose sur les principes qui viennent d'être exposés.

Mais, avant de décrire l'installation de ce système à mouvement continu, il est utile de donner quelques détails sur le mécanisme de traction.

La traction est produite par un câble sans fin enroulé sur deux poulies d'égal diamètre; l'une, placée au sommet du plan incliné, est motrice; l'autre, placée au pied du plan incliné, opère la tension. Elle est tirée par un contrepoids, et placée sur un chariot mobile roulant sur deux rails.

Le câble de traction est double et formé de deux câbles jumeaux en acier fondu au creuset.

Un seul câble suffit à l'effort maximum total, avec un travail au dixième de la rupture, le second est de sécurité.

Ces câbles, placés l'un au-dessus de l'autre, sont réunis — chaque 1,50 m environ — par des bagues plates en deux pièces, boulonnées.

Ce sont ces bagues qui produisent l'entraînement du câble sur la poulie motrice à encoches, et l'entraînement des voitures qui s'accrochent sur ces bagues.

De deux en deux, ces bagues reposent sur un rail central par un galet, et c'est seulement sur ces bagues à galets que s'accrochent les voitures. Les autres ne servent qu'à l'entraînement par la poulie.

Cette disposition fait que les câbles n'ont pas de flexion appréciable et restent constamment parallèles au rail de roulement. De plus, ils ne peuvent se vriller, et la hauteur d'accrochage des voitures reste invariable pendant tout le parcours *(fig. 1)*.

Ces câbles étant — comme on le voit — soutenus de 3 m en 3 m par des galets, il en résulte que l'effort à exercer par la

poulie de tension est celui nécessaire pour tendre un câble de 3 m de longueur.

C'est ce qui explique qu'un contrepoids de 1 200 kg, produisant sur chaque câble un effort de 300 kg, donne une tension suffisante pour que les câbles soient absolument rigides.

L'examen de la disposition montre que la traction du câble est exclusivement dué aux bagues d'entraînement, et que les câbles viennent se reposer dans les gorges des poulies.

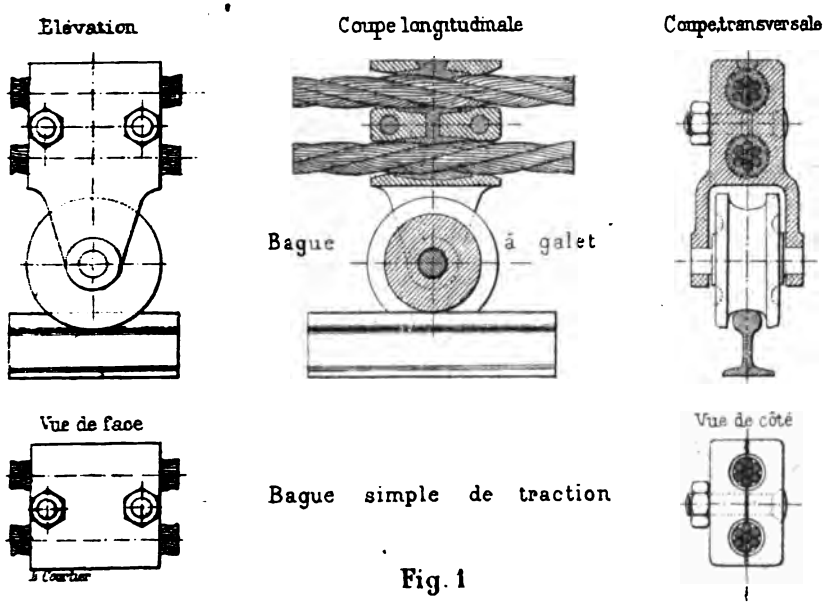


Fig. 1

L'usure des câbles par frottement n'a donc pas lieu, et, si l'on a soin de les préserver de l'humidité en les graissant ou en les goudronnant, leur durée peut être considérée comme indéfinie.

Ceci étant dit, voici la description du funiculaire lui-même.

Profil en long. — La disposition générale comprend deux stations horizontales, distantes l'une de l'autre de 229 m et reliées par deux voies inclinées parallèles.

Le profil en long, en partant de la station inférieure, est constitué — après une partie horizontale — par une rampe de 0,16 m sur 77,50 m de longueur, suivie d'une deuxième de 0,24 m sur 27 m, et d'une troisième de 0,29 m sur 100 m de longueur, le tout terminé par une partie horizontale.

La différence de niveau entre les deux stations est de 48 m.

Voies de roulement. — Les deux voies de roulement sont espacées de 1,95 m d'axe en axe, et les rails — du poids de 9 kg le mètre — ont un écartement de 0,75 m; ils reposent, sur toute leur longueur, sur des longrines en chêne de 12 × 18, reliées de 2 m en 2 m par des traverses en chêne également de 12 × 18, et de 1,30 m de longueur.

Entre ces rails circule le câble sans fin en acier, formé de deux câbles jumeaux de 24 mm de diamètre; des bagues plates en acier sont boulonnées sur ces câbles chaque 1,50 m environ.

Mouvement des voitures. — Les voitures sont réparties le long de ce câble. Arrivées à destination, elles se détachent automatiquement du câble et viennent se placer sur un transbordeur électrique établi perpendiculairement aux voies de roulement.

Ce transbordeur fait passer les voitures sur la voie opposée, où elles s'arrêtent automatiquement. Quand les voyageurs sont montés, elles repartent dès que la griffe d'entraînement a été abaissée par l'employé.

Énergie électrique. — Trois fils aériens conduisent à la station supérieure l'énergie électrique en courant continu, fournie par le réseau de la Ville.

Ces trois fils forment deux ponts de 220 volts chacun, donnant une différence de potentiel de 440 volts aux extrêmes.

Station supérieure. — La station supérieure est la station motrice. Il y a, en outre, un hangar pour le remisage des voitures, et, à la suite, un atelier de réparations *(fig. 2)*.

Salle des machines. Mécanisme moteur. — Le mécanisme, dans la salle des machines, comprend la roue motrice à encoches, de 1,95 m de diamètre, mise en mouvement par une dynamo motrice de 29 ch par deux harnais d'engrenages droits et un rapport cônique.

La dynamo est à quatre pôles, et actionnée par courant continu sous 440 volts; elle est excitée en dérivation à la même tension, et conserve une vitesse uniforme, quelles que soient les variations de charge.

De plus, un rhéostat de champ, placé dans le circuit des inducteurs, permet de régler l'intensité du courant d'excitation, et, par suite, de faire varier à la fois la vitesse de la dynamo et son couple moteur.

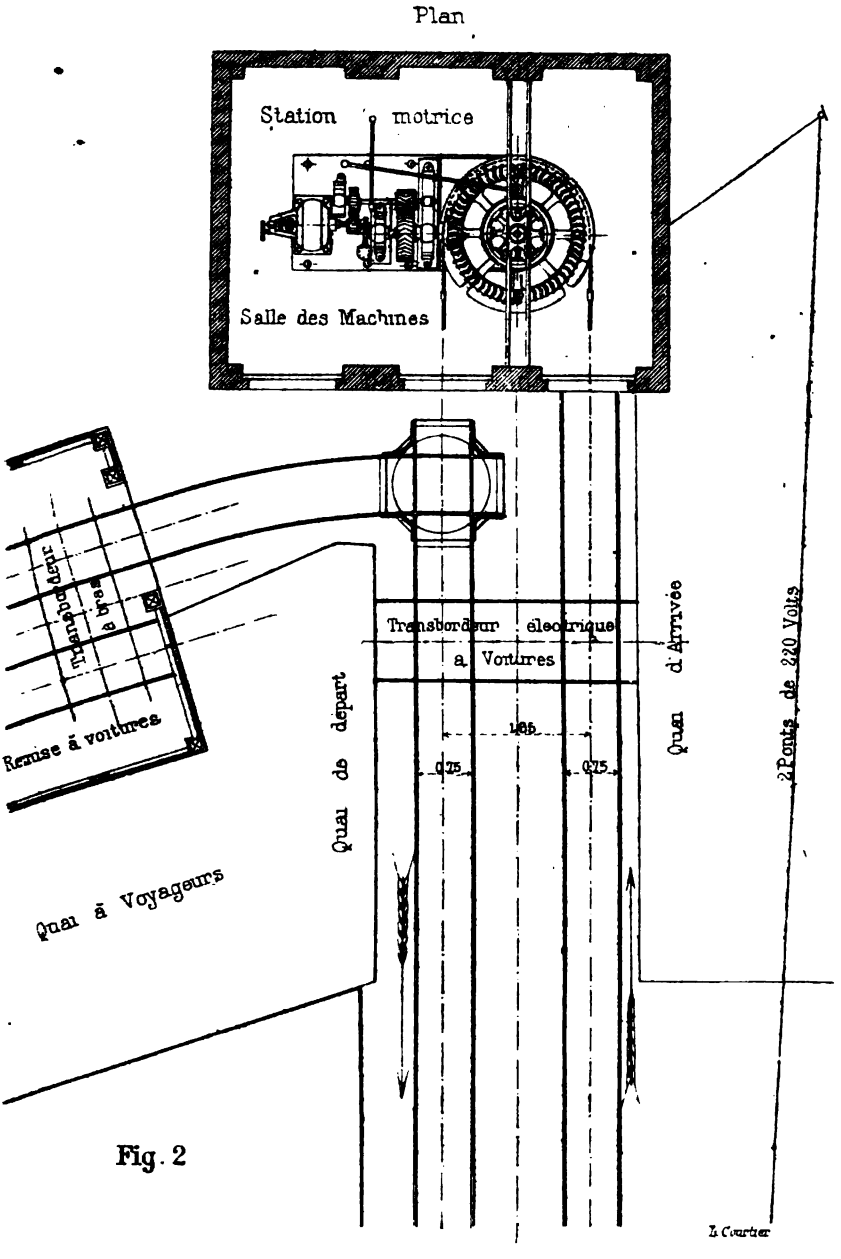

Plan
Station motrice
Salle des Machines
Transbordeur à bras
Remise à voitures
Transbordeur électrique
à Voitures
Quai de départ
Quai d'Arrivée
2 Ponts de 220 Volts
Quai à Voyageurs
1,85
0,75
0,75
L. Courtier

Fig. 2

Pour parer aux ruptures du courant pouvant se produire sur la ligne, un frein électrique à bande et à contrepoids est intercalé entre la dynamo et la roue motrice. Ce frein est calé sur l'arbre de l'induit de la dynamo, à côté du pignon moteur.

Le contrepoids de ce frein est soulevé par un électro-aimant à longue course, monté en série sur le circuit d'excitation.

De cette manière, tant que le courant passe dans la dynamo, le frein est desserré ; dès qu'il cesse de passer — soit que cet arret provienne de la manœuvre du mécanicien, ou d'une cause fortuite — le contrepoids, qui n'est plus soutenu, fait tomber le levier du frein et immobilise tout le mécanisme.

De plus, un deuxième frein à main, monté directement sur la roue motrice, est assez puissant pour bloquer le moteur *(fig. 3)*.

Le funiculaire peut devenir automoteur. — Lorsque le mouvement des voyageurs est plus important à la descente qu'à la montée, le funiculaire devient automoteur, et la dynamo — sans changer de sens de rotation — fonctionne comme génératrice. Elle envoie du courant dans le réseau et fait office de frein régulateur automatique.

Combinateur pour les variations de vitesse, le freinage et l'arrêt. — Un combinateur est installé entre l'arrivée du courant et le moteur ; il permet — par la réduction du voltage dans des résistances — de faire varier la vitesse de la dynamo et, par suite, de donner au câble toutes les vitesses depuis zéro jusqu'à 1 m à la seconde, qui est la vitesse normale de marche.

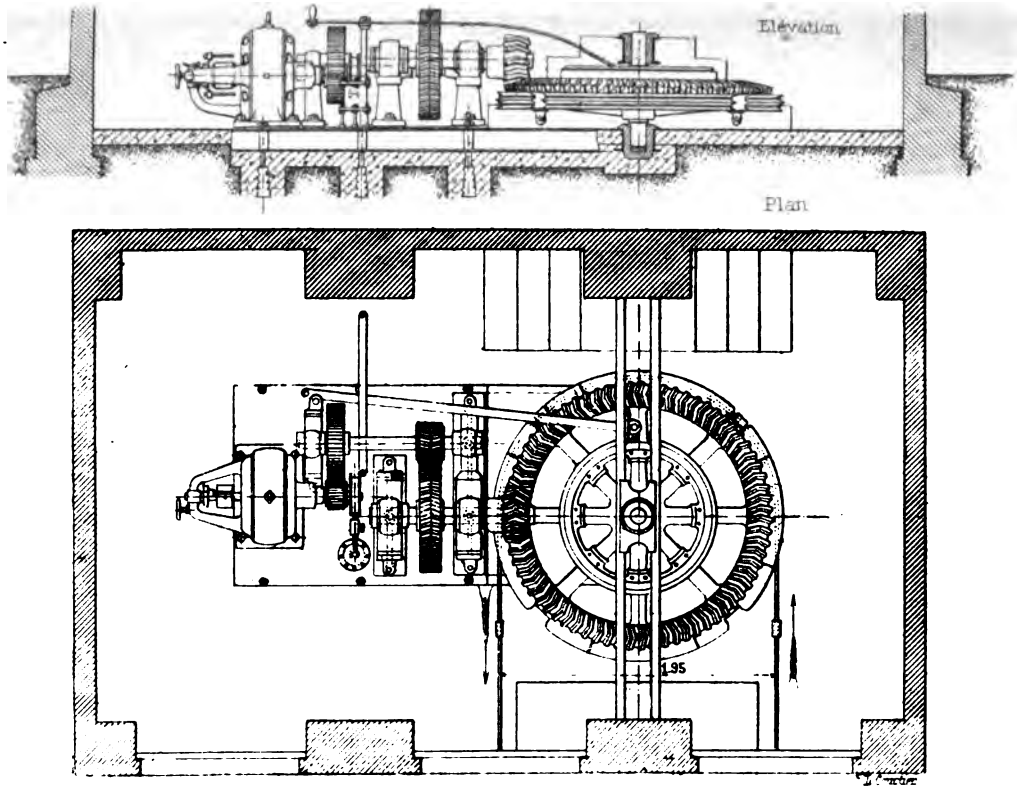
Le combinateur permet aussi le freinage électrique en coupant le courant du réseau et en faisant travailler le moteur comme génératrice sur des résistances.

Le combinateur est à soufflage magnétique et d'une construction analogue à celle des contrôleurs des voitures de tramways.

Ce combinateur est placé au premier étage de la salle des machines d'où, par une baie établie dans l'axe du funiculaire, le mécanicien qui le manœuvre a la vue complète sur toute la ligne.

Tableau de distribution. — Un tableau de distribution se trouve près du mécanicien ; il porte les plombs fusibles correspondants à la dynamo, ainsi qu'un ampèremètre et un voltmètre pour le contrôle de la marche.

Fig. 3



Transbordeur électrique d voitures. — La station supérieure comprend aussi un transbordeur électrique pour transporter mécaniquement les voitures de la voie montante sur la voie descendante.

Ce transbordeur est établi en contre-bas du sol, de manière à avoir son tablier supérieur au niveau des voies de roulement.

Il est constitué par un tablier sans fin, formé de dix-huit plaques en acier de 0,65 m de largeur.

Deux tourteaux à six pans de 1,30 m de diamètre mettent le tablier en mouvement, par l'intermédiaire de deux chaînes à maillons de 0,65 m, boulonnées sur les plaques. Ces tourteaux sont eux-mêmes actionnés par une dynamo motrice, des harnais d'engrenages droits et une chaîne Galle. La vitesse ainsi imprimée au transbordeur est de 0,25 m à la seconde.

Comme le mouvement du transbordeur doit être intermittent, et correspondre à un avancement précis de 1,95 m qui représente l'écartement des voies de roulement, la relation entre le moteur et le mécanisme s'opère à l'aide d'un pignon droit en cuir, monté sur l'arbre de l'induit de la dynamo, et d'un plateau de friction, placé à angle droit avec le pignon, et poussé par un ressort.

La dynamo, étant toujours en mouvement, fait fonctionner le transbordeur tant que le plateau presse sur le pignon moteur.

Un levier mû à la main produit ce contact, et un arrêt automatique à contrepoids interrompt le contact dès que la distance voulue et parcourue.

Il porte un crochet horizontal qui se trouve arrêté par un taquet rivé sur une plaque du tablier — de trois en trois plaques le transbordeur a un de ces taquets d'arrêt, et ainsi chaque course du transbordeur est limitée à ces trois plaques.

Les plaques d'acier du transbordeur supportent des rails de roulement, de sorte que quand une voiture a été transbordée en face de la voie descendante, la voie montante est néanmoins continuée sur le transbordeur par deux rails sur lesquels la voiture vient s'arrêter, pour être transbordée à son tour dès que les voyageurs en sont descendus *(fig. 4)*.

Station inférieure. — La station inférieure est construite en bordure du chemin de la Côte, et en face de la rue Notre-Dame-des-Anges.

Le départ et l'arrivée des voyageurs sont complètement séparés ce qui facilite l'écoulement de la foule.

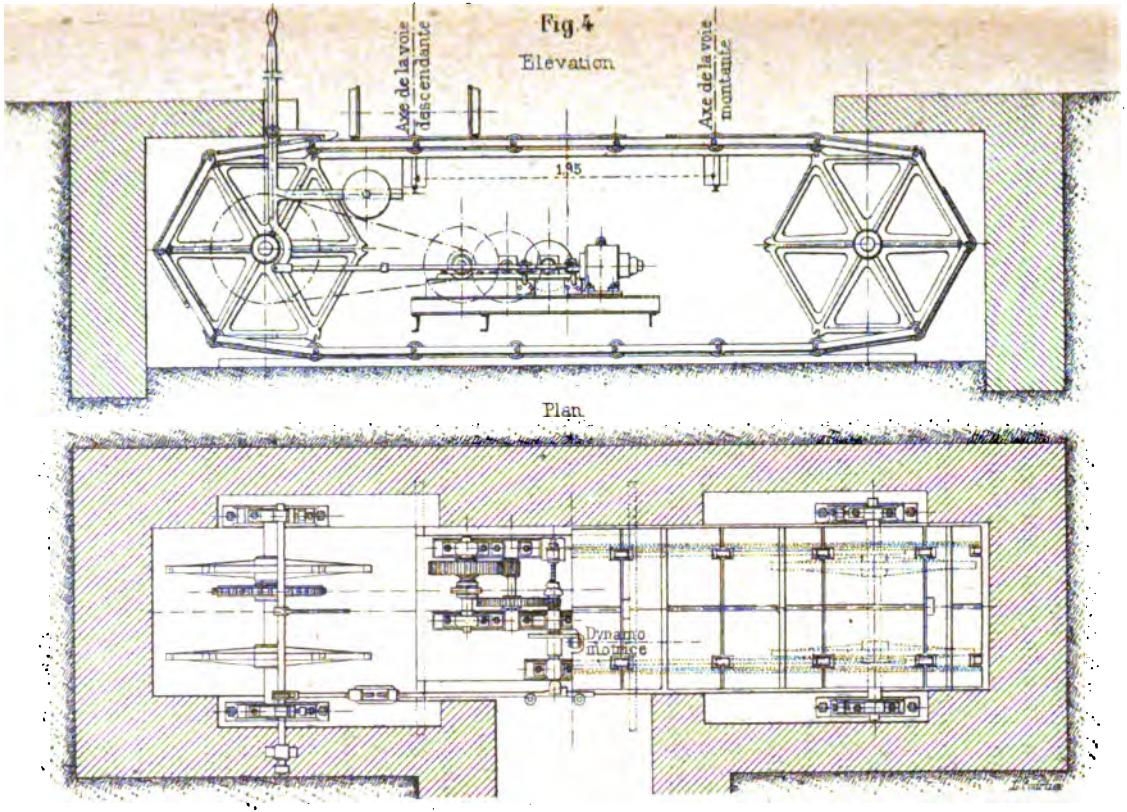


Fig. 4
Elevation
Axe de la voie descendante
Axe de la voie montante
1,85
Plan
Dynamo Hefner

Le bâtiment comprend une seule pièce réservée à l'admistration du funiculaire ; c'est là aussi que sont placés le compteur d'électricité et le téléphone.

A la suite de ce bâtiment, deux voies horizontales servent de garage aux voitures en réserve.

Un transbordeur électrique à voitures, en tout semblable à celui de la station supérieure, fonctionne à cette station.

Tension des câbles. — Sous les voies de garage se trouve la roue de tension des câbles. Cette tension est constituée par une poulie à encoches de 1,95 m de diamètre, montée sur un chariot portant quatre galets qui fonctionnent sur deux rails de roulement posés sur traverses scellées ; le contrepoids pèse 1200 kg.

Les variations de position du châssis sont extrêmement faibles et ne sont dues qu'à l'allongement ou au rétrécissement des câbles sous l'influence de la température.

Quant aux allongements dus aux efforts de traction, ils sont à peu près nuls, grâce à la composition spéciale des câbles, et à la suppression absolue des âmes en chanvre remplacées dans les torons et dans le câble lui-même, par des âmes en acier.

Voitures à voyageurs. — Les voitures à voyageurs sont à six places et ont 1,80 m de longueur sur 1,40 m de largeur ; elles reposent sur deux essieux distants de 0,80 m, et les roues en acier coulé, de 0,30 au roulement, sont calées sur les essieux ; des boîtes à rouleaux donnent un roulement doux et léger.

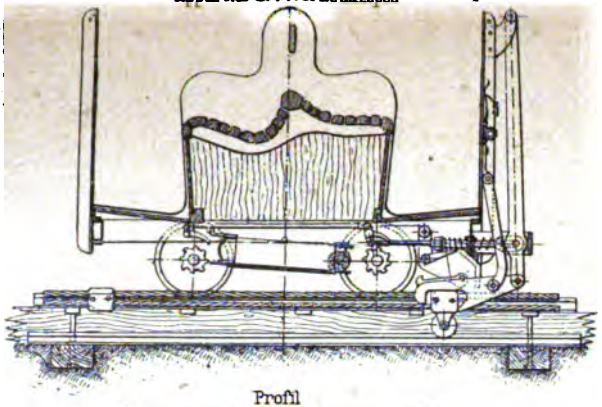
L'accès des voitures est de niveau avec les quais, les voyageurs entrent et sortent de plain-pied ; ils sont assis dos à dos sur deux rangs, les sièges étant perpendiculaires à la voie. Le profil des sièges et du plancher est établi de manière à éviter toute fatigue aux voyageurs qui conservent, malgré les pentes, la position verticale *(fig. 5)*.

Les voitures s'accrochent aux câbles par une griffe mobile suspendue à une barre également mobile que porte la voiture ; cette barre, retenue au repos, est dégagée pour la mise en marche, par la manœuvre d'une poignée, et la griffe se décroche automatiquement à l'arrivée. Les voitures sont donc poussées à la montée, et retenues à la descente par les bagues du câble.

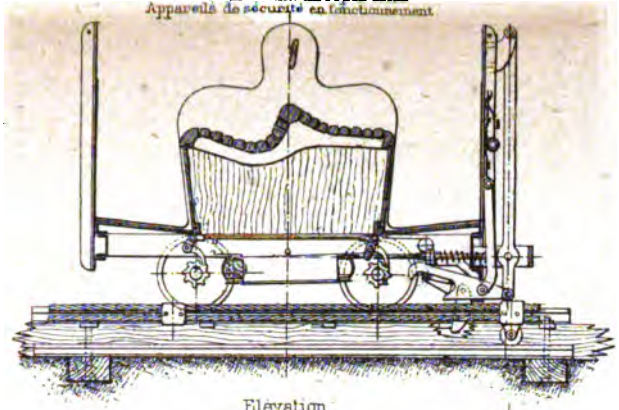
Chaque voiture possède ses appareils de sécurité pour la maintenir immobile sur la voie en cas d'accident.

Fig.5

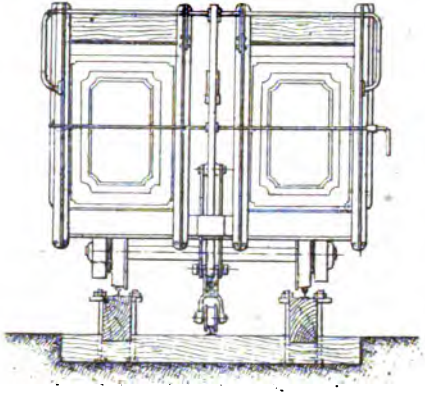
Coupe longitudinale
La voiture étant accrochée sur le câble et les Appareils de sécurité au repos



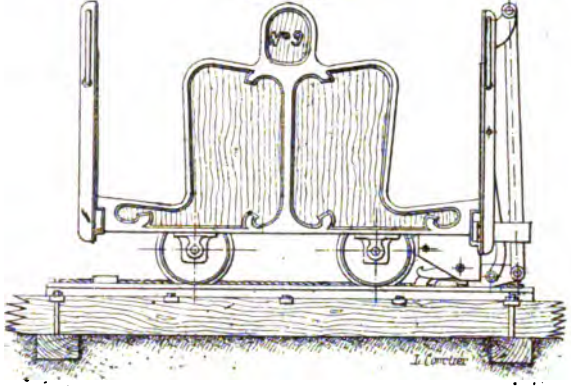
Coupe longitudinale
La voiture étant au repos et les Appareils de sécurité en fonctionnement



Profil



Elévation



La manœuvre de ces appareils a pour résultat d'empêcher la rotation des quatre roues, en immobilisant les essieux, et aussi de faire tomber de chaque côté de la voiture deux fortes béquilles en fer forgé, qui viennent se heurter contre des taquets en fer, encastrés dans les longrines de la voie.

Ces taquets sont espacés d'une façon inversement proportionnelle à la pente, de telle sorte que leur distance est de 0,45 m sur la plus forte pente et de 2 m sur la plus faible.

Pour immobiliser les essieux, deux chiens d'arrêt se mettent en contact avec deux roues à rochets calées sur les essieux.

Ces deux chiens et les béquilles sont soulevés, tant que la voiture, placée en pente, exerce un effort sur la griffe d'accrochage ; quand cet effort cesse, dans les parties horizontales, ou dès qu'il ne peut s'exercer par suite de la rupture d'un organe quelconque, un ressort, qui était tendu sous cet effort, se détend, et fait fonctionner les appareils de sécurité.

Pour éviter que dans les manœuvres aux stations établies en palier, les appareils de sécurité agissent, un dispositif d'arrêt les maintient.

Ce dispositif est actionné par un boulet roulant dans un couloir oscillant, de telle sorte que ce couloir est incliné dans un sens ou dans l'autre, le boulet est d'un côté ou de l'autre de l'axe de rotation.

En palier l'arrêt des appareils de sécurité est ainsi produit, et en pente ils sont libres de fonctionner.

Ce dispositif, fort simple, permet donc d'immobiliser automatiquement les appareils de sécurité à l'arrivée, et de les laisser fonctionner en route.

Un autre avantage de cette disposition est, que les appareils de sécurité sont constamment en fonction, ce qui les conserve bien entretenus, et donne l'assurance certaine de leur action immédiate en cas d'accident.

Le nombre des voitures construites et en circulation a été de dix pour débuter, mais le mécanisme est établi pour vingt voitures.

Avec les dix voitures actuelles, les départs sont espacés d'environ 45 secondes, et le trafic à l'heure, quand les voyageurs se présentent d'une façon ininterrompue, est de 480 voyageurs dans chaque sens.

Mise en exploitation. — Ce funiculaire a été livré au public en

avril 1905, après réception par les Ingénieurs délégués de la Société d'exploitation.

Les épreuves de résistance et les essais des appareils de sécurité ont donné les meilleurs résultats, et depuis, tout fonctionne sans interruption.

Les jours d'affluence — dimanches, jeudis et fêtes — alors que le public vient en foule de deux à six heures, et peu aux autres heures, la moyenne des voyageurs transportés a été de 1600 à 1800; pendant le mois de juillet dernier, ce chiffre a été de 15000, et a correspondu à une dépense de force motrice de 520 kilowatts-heure, fournie par la Compagnie Générale d'Électricité de Nancy.

Le personnel nécessaire comprend : un mécanicien et deux employés — un à chaque station pour l'accrochage des voitures.

Le prix de l'installation complète, comprenant : le terrassement, les bâtiments, les constructions mécanique et électrique, ainsi que les dix voitures, n'a pas dépassé 60000 f.

Le tarif des places est de 0,15 f à la montée, 0,10 f à la descente et 0,20 f pour aller et retour.

Application générale de ce nouveau système. — Si l'on veut bien considérer que ce funiculaire est utilisé exclusivement pour une excursion de plaisir dans une propriété privée, on peut juger, d'après l'accueil fait par le public à ce nouveau système de locomotion, des résultats avantageux que l'on obtiendrait s'il s'agissait de desservir des localités fréquentées régulièrement.

Il est certain que ce genre de funiculaire économique et pratique, est une innovation qui répond aux besoins modernes; aujourd'hui, tout le monde apprécie la valeur du temps — pour les affaires et pour les plaisirs — et un chemin de fer qui, à chaque moment, est à la disposition des voyageurs, exerce sur tous une irrésistible attraction.

NOTE SUR LE DÉVELOPPEMENT

DE

L'APPLICATION DES TURBINES A VAPEUR

A LA PROPULSION DES NAVIRES

PAR

M. G. HART

Développement récent des turbines marines.

Depuis le commencement de l'année 1904, l'emploi des turbines à vapeur comme machines motrices, tant pour les installations de terre que sur les navires, a fait des progrès très considérables grâce à des perfectionnements qui se sont traduits par une augmentation de rendement et des économies de vapeur.

Nous ne voulons aujourd'hui nous occuper que de leur application à la propulsion des navires qui s'est développée d'une manière remarquable aussi bien à bord des navires de guerre que des paquebots et des yachts à grande vitesse.

La puissance totale actuellement développée par les turbines à vapeur marines dépasse 600 000 ch. *(fig. 1)*.

Ce chiffre total se répartit à peu près comme suit entre les différents types de turbines :

Turbine Parsons.	590 000 ch.
Turbine Rateau	4 à 5 000 ch.
Turbine Breguet.	4 à 5 000 ch.
Turbine Curtis	3 à 4 000 ch.

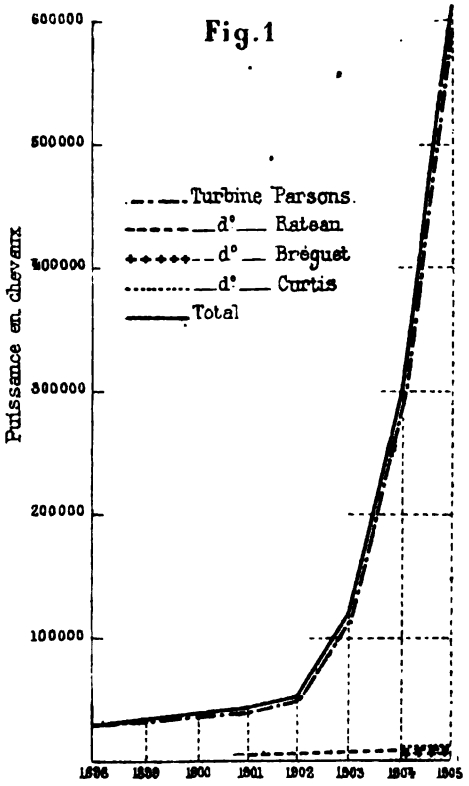
La turbine Parsons, qui est la plus ancienne, est aussi, comme on le voit, la plus répandue, ce qui est tout naturel, puisqu'elle a reçu une plus longue consécration de la pratique.

La puissance développée par cette turbine comme moteur marin est cependant loin d'être aussi considérable que pour les installations à terre qui, aujourd'hui, comprennent un assez grand nombre d'unités de 5 à 10 000 ch. Il en est d'ailleurs de même des autres turbines.

Cette différence tient aux difficultés spéciales inhérentes à l'application des turbines à la propulsion des navires, difficultés beaucoup plus grandes que pour les installations à terre.

DÉVELOPPEMENT DES TURBINES MARINES

Fig. 1



Difficultés de l'application des turbines à la propulsion des navires..

Dans ces dernières installations, la turbine a généralement à conduire une dynamo, une pompe centrifuge, un ventilateur de marche absolument régulière. Elle peut, parsuite, montrer tous ses avantages, les appareils qu'elle commande admettant une vitesse de rotation voisine de la sienne et ayant de plus, dans la plupart des cas, un haut rendement.

Enfin l'évaluation du travail exact développé est généralement possible de sorte qu'on se trouve en présence de chiffres certains ne prêtant pas à la controverse.

Pour la turbine marine, au contraire, les conditions de fonctionnement sont infiniment moins favorables.

Commandant un propulseur de rendement très variable suivant la vitesse de rotation à laquelle il fonctionne, mais qui décroit rapidement quand cette vitesse atteint une certaine valeur, elle subit également l'influence de la carène dans laquelle elle est montée, le propulseur étant lui-même soumis à cette influence.

Il y a là deux causes qui influent fortement sur les résultats obtenus, et. d'une manière générale, la turbine à vapeur subit, beaucoup plus que la machine alternative, leurs effets, sa vitesse de rotation demandant des propulseurs de diamètre plus faible.

La différence de vitesse de rotation, avantageuse pour la turbine, d'une part, et le propulseur, de l'autre, si on veut doter ce dernier d'un bon rendement, est une autre cause de difficulté. Si on veut obtenir un bon rendement pour la turbine, on se heurte, par suite de la rapidité de rotation nécessaire, à ce que notre éminent collègue M. Normand a appelé, dès 1893, la rupture des cylindres d'eau actionnés par les propulseurs, phénomène connu aujourd'hui sous le nom plus simple de cavitation.

Ce phénomène fait tomber rapidement, dès qu'on atteint une certaine vitesse de rotation et, par suite, une certaine pression sur l'aile de l'hélice, le rendement du propulseur dans des proportions considérables.

Il se forme en effet, d'abord au bout de l'aile, puis sur toute sa surface, une cavité remplie d'air. Celui-ci, étant très élastique, ne transmet plus à l'eau lapression du propulseur, qui tourne, sans travail utile pour la propulsion, dans un milieu pour ainsi dire compressible au lieu d'un milieu incompressible (*Pl. 121*).

Il est donc de la plus grande importance d'éviter ce phénomène, qui entraine un énorme gaspillage de puissance sans effet utile.

La pression limite sur l'aile au-dessous de laquelle il parait bon de se tenir parait être de 0,7 kg à 0,85 kg par centimètre carré. Elle est naturellement variable avec l'immersion du bout de l'aile du propulseur dans sa position la plus haute ; mais cette immersion ne doit pas, pour la valeur indiquée plus haut, être inférieure de 0,30 m à 0,35 m.

Les effets de la cavitation se faisaient probablement déjà sentir pour les hélices de petit diamètre primitivement essayées. Aujourd'hui, grâce à la possibilité de réduire le nombre de tours, et par suite la pression sur la surface du propulseur, ils sont

beaucoup moins à redouter si la turbine est étudiée en vue d'une vitesse de marche convenable pour le propulseur, dût-on sacrifier un peu son rendement propre.

La détermination de la vitesse de marche de l'ensemble, turbine et propulseur, n'est pas d'ailleurs sans présenter des difficultés sérieuses, car, si on abaisse trop la vitesse de rotation pour faciliter le tracé du propulseur, on arrive à perdre plus sur le rendement de la turbine qu'on ne gagne sur celui du propulseur; le rendement global diminue donc.

Cette vitesse ne peut guère se déterminer convenablement qu'à l'aide de coefficients pratiques relevés dans des installations précédentes, coefficients différents pour les divers systèmes de turbines.

C'est la difficulté de réduire suffisamment, tout avec un coefficient de rendement convenable pour la turbine, la vitesse de rotation, qui a empêché jusqu'ici cette dernière d'être économique aux vitesses inférieures à 15 nœuds. Cependant les progrès réalisés tout récemment permettent d'espérer que, dans un temps relativement court, il sera possible de donner à la turbine plus d'élasticité et de régler l'arrivée de la vapeur sur le travail à effectuer.

Quand il en sera ainsi, le champ des applications marines de la turbine sera singulièrement accru, car, avec ses avantages propres, elle sera pour ainsi dire le moteur naturel de la classe si nombreuse des navires à vitesse inférieure à 16 nœuds et des cargo-boats.

Sans doute c'est encore l'avenir, mais il se rapproche à grands pas et les installations nouvelles où le nombre de tours doit tomber à 165 donneront, à cet égard, des enseignements précieux, tout en permettant d'étudier définitivement l'influence des carènes à grand déplacement sur les propulseurs de diamètre réduit.

Une autre cause de la difficulté d'extension de la turbine marine est l'impossibilité de déterminer exactement le travail fait et par suite la consommation de vapeur. Les conditions de marche d'un navire sont tellement variables que la consommation brute de combustible, en supposant qu'on connaisse exactement la quantité de vapeur produite par kilogramme de combustible, ne donne que des moyennes qui sont loin de représenter la réalité et ne permet pas de déterminer dans quelles conditions il y a avantage ou désavantage.

De là une hésitation compréhensible à accepter certains résul-

tats cependant absolument sûrs, mais qui ne peuvent se chiffrer et s'imposer comme ceux donnés par la machine alternative.

Si, à ces obstacles d'ordre mécanique et mathématique, on ajoute la nécessité de rompre des habitudes déjà anciennes, de changer des méthodes de calcul familières depuis longtemps, on jugera mieux l'importance du développement qu'a prise, dans ces deux dernières années, l'application de la turbine à vapeur à la propulsion des navires.

Objections faites à l'emploi des turbines marines.

La principale objection faite à l'emploi des turbines marines est leur consommation de vapeur. Il faut cependant bien distinguer, aujourd'hui, car cette objection, valable encore pour les faibles vitesses, n'a plus de raison d'être pour les grandes et les moyennes vitesses.

Les progrès réalisés depuis deux ans à cet égard ont été très considérables, et pratiquement le rendement de l'ensemble turbine et propulseur a augmenté de 12 à 15 %, ce qui, comme nous le verrons par des exemples, lui assure, pour les grandes et moyennes vitesses, une supériorité marquée sur les machines alternatives.

A petite vitesse, c'est-à-dire au-dessous de 16 nœuds, pour ne pas dire 14, chiffre auquel conduisent les différentes expériences comparatives, il n'en est plus ainsi, mais les travaux exécutés récemment, les rapides progrès réalisés montrent que la voie dans laquelle on s'est engagé doit être, dans un délai relativement court, féconde en résultats.

D'autre part, on reproche également aux turbines, quand elles atteignent une certaine puissance, d'être lourdes et encombrantes presque à l'égal des machines alternatives.

Il y a cependant toujours gain de poids et d'encombrement; il est plus ou moins prononcé, suivant les circonstances de fonctionnement des turbines, mais il existe même avec des turbines économiques, c'est-à-dire très développées.

Chaque application des turbines à la propulsion des navires est une question d'espèce qui doit être étudiée en elle-même en s'inspirant du service que doit remplir le navire.

Il faut se garder de généraliser, car une turbine, économique dans un cas, si elle est employée dans d'autres conditions, pourra donner des résultats détestables.

En marine surtout, plus encore qu'ailleurs, tout est matière à compromis, et on ne peut espérer développer simultanément toutes les qualités du moteur ; il faut choisir celle qui importe le plus pour le service en vue et lui sacrifier plus ou moins les autres.

Si on veut des turbines économiques, elles seront, par cela même, pour une vitesse donnée, plus lourdes et plus encombrantes que des turbines dont la consommation sera plus forte, mais elles le seront toujours moins que les machines alternatives de même force.

Si on ajoute au poids gagné sur la turbine elle-même celui du combustible économisé, on arrive à pouvoir faire exécuter à un navire des voyages plus longs avec le même poids de combustible, c'est-à-dire à augmenter son rayon d'action.

Si, au contraire, c'est la vitesse qu'on cherche, il faudra, dans une certaine mesure, lui sacrifier le poids, l'encombrement et la consommation de vapeur.

En un mot, chaque cas doit être étudié avec soin pour chercher la solution la plus avantageuse. Il faut surtout étudier parallèlement le moteur et le propulseur qui forment un tout dont le rendement global importe seul. Une turbine peut être excellente en elle-même et, par ses conditions de fonctionnement, ne pas se prêter au tracé d'un propulseur à rendement satisfaisant.

C'est très probablement à une cause de ce genre que sont dus des insuccès qui semblent inexplicables quand on étudie la turbine seule.

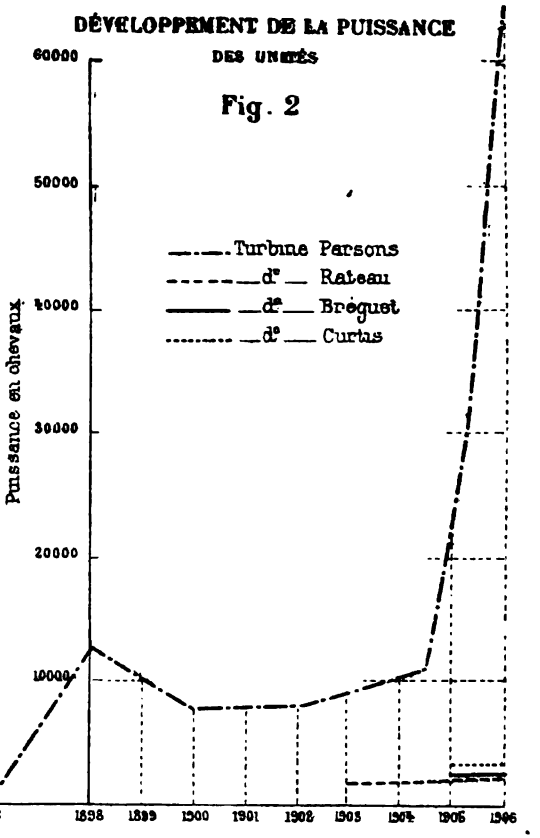
Sans doute il y a encore lieu de faire un compromis entre le rendement du moteur et celui du propulseur, et souvent il y a intérêt à sacrifier légèrement le premier si on gagne beaucoup plus sur le second.

L'étude des installations déjà réalisées est, à cet égard, des plus instructives, si on tient compte des différents services auxquels étaient destinés les navires.

C'est cette étude sommaire que nous voudrions faire pour en tirer des conclusions pratiques, en la faisant précéder d'un court historique de la question, mais en nous bornant aux dernières applications, d'ailleurs nombreuses et d'un rendement sensiblement plus élevé que celui des installations plus anciennes.

Historique sommaire de l'application des turbines à la propulsion des navires.

L'application des turbines à la navigation, après avoir débuté en 1896 sur le navire d'étude *Turbinia* par des appareils de 2000 chevaux, puis sur le *Cobra* et le *Viper* par des appareils de 10 à 12000 ch aux hélices de petit diamètre tournant à grande vitesse, a continué par les paquebots *King Edward* et *Queen*



Alexandra, sur lesquels le nombre de tours était déjà sensiblement réduit. Il le fut encore plus, en laissant de côté les petits yachts, sur le contre-torpilleur *Velox*, et un peu plus tard sur la *Queen*.

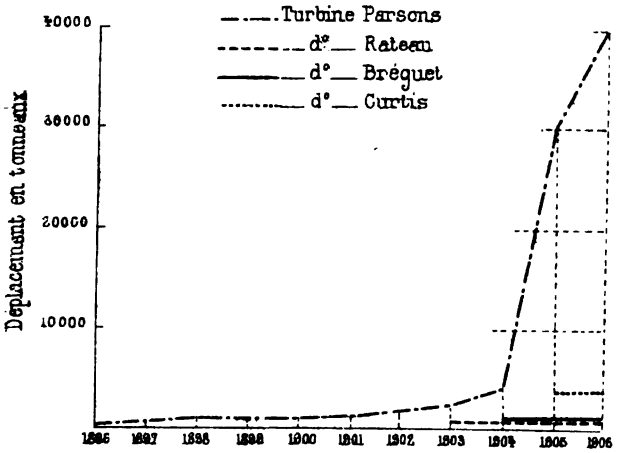
Aujourd'hui il existe de nombreux appareils de 8 à 10000 ch sur des paquebots de 2 à 3000 tx, comme la *Queen*, l'*Onward*,

l'*Invicta*, le *Londonderry*, le *Manxman*, deux appareils de 12 000 ch sur les paquebots de 13 000 t de la ligne Allan, *Victorian* et *Virginian*, un de 21 000 ch sur le paquebot Cunard *Carmania* de 30 000 tx, et enfin deux appareils de 65 à 70 000 ch sont en construction pour les deux paquebots de 25 nœuds et de près de 40 000 tx de déplacement de la Compagnie Cunard *(fig. 2 et 3)*.

A ces installations sur des paquebots viennent se joindre deux appareils de 9 à 11 000 ch sur l'*Amethyst* et le *Lubeck*, croiseurs de 3e classe des marines anglaise et allemande, ainsi qu'un nombre assez considérable d'appareils pour torpilleurs.

DÉVELOPPEMENT DU TONNAGE DES UNITÉS

Fig. 3



La distinction entre les navires de guerre et les paquebots est absolument nécessaire, en raison des buts différents qu'on se propose dans l'établissement des turbines motrices de ces deux groupes.

Tandis que les paquebots marchent à une vitesse sensiblement constante et voisine de la vitesse maxima, les navires de guerre ont besoin de variations de vitesse assez considérables. De là des différences profondes entre les appareils moteurs de ces deux groupes.

Le développement rapide des turbines marines depuis deux ans n'a été rendu possible que par des perfectionnements qui ont permis de vaincre les difficultés inhérentes à l'emploi de

propulseurs de diamètres relativement petits sur des carènes de déplacement de plus en plus considérables.

Jusqu'en 1904, les applications des turbines à la propulsion des navires n'avaient guère porté que sur des déplacements ne dépassant pas 2 000 tx pour lesquels les hélices, bien que d'un diamètre inférieur à celui des propulseurs mus par des machines alternatives, donnaient encore une surface de disque relativement élevée par rapport à celle du maître couple immergé.

Ce n'est qu'à partir de cette époque, qu'à la suite d'études très longues et très coûteuses, on est arrivé à réduire, dans des conditions de rendement satisfaisantes, le nombre de tours des turbines, et, par suite, à augmenter le diamètre des propulseurs.

Cette modification avantageuse a facilité, dans une large mesure, l'installation des turbines à bord des navires à grand maître couple immergé et grand tonnage, tout en augmentant le rendement global par suite de l'accroissement très sensible du diamètre des hélices et de leur rendement.

Dans la disposition primitive employée sur la *Turbinia*, le petit diamètre des hélices, conséquence du nombre élevé de tours, nécessitait, pour obtenir une surface propulsive suffisante, l'emploi de trois hélices par arbre, disposition qui était loin d'être satisfaisante. Le premier seul de ces propulseurs travaillait dans de bonnes conditions, malgré les soins pris pour séparer les hélices les unes des autres par une distance supérieure à trois fois leur diamètre.

Il en résultait une assez forte réduction de rendement des hélices et par suite du rendement global. De plus, la grande vitesse de rotation, 2 000 tours par minute, rapprochait les conditions de fonctionnement de celles où se produit le phénomène de la cavitation.

Il y avait donc le plus grand intérêt à réduire la vitesse périphérique des propulseurs. Les efforts tentés dans ce sens furent longs à aboutir, et ce n'est qu'à la fin de 1903 qu'on réussit à abaisser le nombre de tours sans amener pour la turbine une chute de rendement inadmissible.

Avantages de l'abaissement du nombre de tours.

Ce sont ces études longues et coûteuses qui ont condnit Parsons à réduire à un par arbre le nombre des propulseurs de la *Turbinia*, en modifiant en même temps la turbine, de manière à lui assurer encore un rendement satisfaisant à 1 800 tours.

Le résultat fut excellent et le rendement global légèrement augmenté ; aussi, dans les installations ultérieures, n'y eut-il plus sur chaque arbre commandé par une turbine qu'un seul propulseur de diamètre approprié. Les propulseurs de la *Queen*, alors en construction, furent modifiés dans ce sens, avec des résultats très satisfaisants.

C'est ainsi que le nombre de tours, qui était primitivement de 2 000 sur la *Turbinia*, puis de 1 800, fut ramené successivement à 800, 700, 600 sur le *King Edward* et la *Queen Alexandra*, pour descendre à 500 sur les installations ultérieures, et enfin tomber à 300 et même 267 sur le *Victorian* et le *Virginian*. Encore faut-il noter que pour les nouveaux paquebots de la Compagnie Cunard, la vitesse prévue n'est que de 180 tours.

Cet abaissement progressif du nombre de tours est la caractéristique des dernières installations des turbines marines, et l'augmentation très sensible de rendement du propulseur y compense et au delà la légère perte d'utilisation qu'on a dû consentir sur le rendement propre des turbines, puisque le rendement global a augmenté de 12 à 15 0/0.

Cette perte d'utilisation peut d'ailleurs être très faible, la courbe de rendement des turbines, quand on prend les vitesses de rotation comme abscisses, étant généralement très aplatie dans le voisinage du maximum. On dispose donc d'une marge suffisante pour le nombre de tours sans une variation trop grande du rendement de la turbine, et on peut alors arriver à tracer un propulseur dans des conditions satisfaisantes si le rendement maximum du moteur ne correspond pas à un nombre de tours trop élevé.

C'est probablement à un nombre de tours trop élevé de la turbine à son rendement maximum, qu'il faut attribuer les insuccès rencontrés par des turbines paraissant très satisfaisantes en elles-mêmes. Il a été impossible, étant donné leur nombre de tours, de trouver, malgré de nombreux changements d'hélices, le propulseur ayant un rendement satisfaisant à cette allure.

Il est donc indispensable, dans l'étude de l'application des turbines à la propulsion des navires, d'envisager simultanément le propulseur et le moteur; l'un ne va pas sans l'autre, et on irait au-devant de graves mécomptes en voulant appliquer à la commande d'une hélice une turbine qui n'aurait pas été étudiée en vue de cette hélice ou réciproquement. C'est certainement à cette étude parallèle du moteur et du propulseur que sont dus les progrès réalisés.

Les applications des turbines à la propulsion des navires sont devenues très nombreuses depuis le commencement de 1904; aussi nous bornerons-nous à examiner celles sur lesquelles on a des renseignements intéressants à un point de vue ou à un autre.

C'est ainsi que nous allons étudier successivement les installations et les résultats obtenus par chacun des types de turbines sur les navires suivants :

1° Turbines Parsons : *Onward*, *Invicta*, *Princess Maud*, *Lhassa*, *Linga*, *Lunka Lama*, *Viking*, *Londonderry*, *Manxman*, *Turbinia II*, *Dieppe*, *Victorian*, *Virginian* et *Carmania* pour les paquebots.

Torpilleur français n° 293, torpilleur allemand S 125, croiseur anglais *Améthyst*, croiseur allemand *Lubeck* pour les navires de guerre.

2° Turbines Rateau : Yacht torpilleur *Caroline*.

3° Turbines Breguet : Torpilleur français n° 294.

4° Turbines Curtis : Paquebot *Kaiser*, croiseur américain *Salem*.

« Onward » et « Invicta ».

Ces deux paquebots ont été construits pour le London Chatham and South Eastern Railway par la maison Denny Brothers de Dumbarton. Ils ont la même disposition, sauf de légères variantes, et les mêmes dimensions que la *Queen*.

Leurs turbines diffèrent cependant légèrement, car le nombre de tours décroît avec l'époque de leur mise en service.

Les différences, en ce qui concerne la machinerie, portent sur les dispositions de la prise de vapeur générale et la commande des turbines.

La puissance des appareils moteurs a suivi une marche croissante ainsi que le diamètre des hélices, pendant que le nombre

de tours diminuait. Ces modifications ont sensiblement amélioré le rendement, et on peut évaluer à environ 15 0/0 le bénéfice réalisé de ce chef.

Le tableau ci-après indique les données comparatives des trois paquebots et permet de suivre l'évolution dont il vient d'être question.

	QUEEN	*ONWARD*	*INVICTA*
Longueur . . . . . m	94,48	94,48	94,48
Largeur . . . . . m	12,19	12,19	12,19
Creux . . . . . m	7,62	7,47	7,47
Tirant d'eau moyen . . . . . m	3,07	3,07	3,07
Déplacement . . . . . tx	1 950	1 950	1 950
Pression aux chaudières. . . . . kg	10,54	11,25	11,25
Nombre de tours. Turbine centrale HP	480	440	420 (apprt)
Nombre de tours. Turbines latérales BP	500	440	420 (apprt)
Nombre de propulseurs par arbre. . .	1	1	1
Diamètre des propulseurs { hélice centrale. . . m	1,827	1,980	2,03 (apprt)
Diamètre des propulseurs { hélices latérales. . m	1,700	1,980	2,03 (apprt)
Puissance développée aux essais . .ch	8 500	9 000	9 000
Vitesse réalisée. . . . . nœuds	21,73	22,90	22,935

Les turbines de marche arrière de l'*Onward* et de l'*Invicta* sont sensiblement plus puissantes que celles de la *Queen*, mais n'existent, comme sur ce paquebot, que sur les deux arbres latéraux.

La marche de ces paquebots a donné toute satisfaction, mais il n'est pas encore possible de chiffrer exactement la consommation des deux derniers et par suite le bénéfice réalisé sur la *Queen*.

Toutefois les manœuvres et la marche arrière sont toujours lentes, trop lentes pour des paquebots qui ont à accoster et manœuvrer dans les ports plusieurs fois par jour.

Princess Maud.

Ce paquebot, construit par Denny Brothers pour la ligne de Larne à Stranraër (Écosse), ressemble beaucoup, au point de vue de la machinerie au *King Edward* et à la *Queen Alexandra* dont il dérive, contemporain de la *Queen*, il a un nombre de tours plus élevé que ce dernier paquebot, bien que la pression aux chau-

dières soit la même, mais ses turbines sont moins développées et utilisent probablement moins bien la vapeur.

Les caractéristiques du paquebot sont les suivantes :

Longueur	m	91,43
Largeur	m	12,19
Creux	m	7,47
Tirant d'eau	m	3,20
Déplacement	tx	1 750
Pression aux chaudières	kg	10,54
Puissance développée	ch	6 500
Nombre d'arbres		3
— de propulseurs		3
— de tours des propulseurs		600
Diamètre des propulseurs	m	1,523
Vitesse réalisée	nœuds	20,70

Comme les paquebots des lignes Calais-Douvres et Ostende-Douvres, la *Princess Maud* est munie d'un gouvernail à l'avant pour faciliter les manœuvres.

La vitesse garantie n'était que de 20 nœuds et, bien que la vitesse moyenne ne soit que de 20,7 nœuds, ce navire a atteint une vitesse maxima voisine de 22 nœuds.

Comme sur les paquebots à turbines de Denny, les turbines de marche arrière ne paraissent pas assez puissantes et les manœuvres sont lentes.

Lhassa, Lunka, Linga, Lama.

Ces quatre paquebots, construits par Denny pour la British India Steamship C° sont semblables et font le service de Bombay-Kurrachee depuis le milieu de 1904. Leurs dimensions sont les suivantes :

Longueur	m	83,82
Largeur	m	13,40
Creux	m	7,77
Puissance aux chaudières	kg	10,54
Pression	ch	6 000
Nombre d'arbres		3
— de propulseurs		3
Vitesse réalisée	nœuds	18,00

La disposition des turbines en série est la même que celle des autres paquebots construits par la maison Denny Brothers.

Les résultats économiques ont été si satisfaisants que la même Compagnie vient de commander deux nouveaux paquebots de ce type, qui seront construits par Denny Brothers et Workman Clark.

Sur ces paquebots, les turbines de marche arrière sont relativement peu développées, ce qui ne présente pas d'inconvénients étant donnée la longueur des voyages.

Loongana.

Ce paquebot, construit par Denny Brothers pour la Steamship C° de Nouvelle-Zélande, est analogue aux précédents, mais un peu plus grand. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Longueur	m	91,43
Largeur	m	13,10
Creux	m	7,62
Tirant d'eau	m	3,81
Déplacement	tx	2 400
Pression aux chaudières	kg	10,54
Puissance	ch	6 300
Nombre d'arbres		3
— de propulseurs		3
Diamètre des propulseurs	m	1,60
Nombre de tours		650
Vitesse aux essais	nœuds	20,20

Comme les précédents, ce paquebot a des turbines tournant encore à un nombre de tours relativement élevé; les turbines de marche arrière sont également peu développées et pour les mêmes raisons.

La vitesse aux essais a, comme on le voit, été très satisfaisante, mais on n'a aucun renseignement sur la consommation de vapeur.

Dieppe.

Ce paquebot, de la ligne de Dieppe à Newhaven, a été construit par la maison Fairfield. Il a à peu près les mêmes dimensions que le *Brighton*, paquebot à turbines de la même ligne construit par Denny Brothers.

Comme on reprochait à celui-ci la lenteur de l'arrêt, conséquence du peu de développement des turbines de marche arrière le marché du *Dieppe* contenait une clause stipulant que l'arrêt du navire, à 12 nœuds, devrait pouvoir s'exécuter en 100 yards (91,44 m).

Les données du *Dieppe*, qui ne déplace que 1 360 tx, sont les suivantes :

Longueur	m	85,34
Largeur	m	10,56
Creux	m	4,41
Tirant d'eau	m	2,82
Déplacement	tx	1 360
Puissance	ch	6 500
Nombre d'arbres		3
— de propulseurs		3
— de tours des hélices		650
Diamètre des hélices	m	1,524
Pression aux chaudières	kg	10,54
Vitesse aux essais	nœuds	21,75

La disposition des turbines est à peu près la même que celle du *Brighton* et des paquebots construits par Denny, mais elles développent 500 ch de plus et donnent aux navires une vitesse un peu supérieure à celle du *Brighton (fig. 4 et 5)*.

Il y a quelque différence dans la disposition des prises de vapeur générales et les turbines de marche arrière sont plus développées, étant données les conditions d'arrêt acceptées par la maison Fairfield. Elles sont, suivant la disposition généralement adoptée, montées dans les enveloppes des turbines latérales BP.

L'essai d'arrêt stipulé au marché a été exécuté en prenant comme points de repère deux bateaux mouillés à 100 yards l'un

de l'autre. Le stop a été donné sur le *Dieppe* lancé à 12 nœuds devant le premier de ces bateaux et le paquebot a commencé à marcher effectivement en arrière devant le second.

Cette expérience, ainsi que celles exécutées postérieurement sur le croiseur *Lubeck*, dont il est question plus loin, montrent que, dans la plupart des cas, deux turbines de marche arrière suffisent, si elles sont suffisamment développées. Cependant pour les navires à courtes traversées ayant des accostages et des manœuvres fréquentes dans les ports, nous croyons qu'il serait préférable, malgré le léger surcroît de poids, d'avoir une turbine de marche arrière sur chaque arbre. Cette disposition accroîtrait, pour la marche arrière, la surface propulsive de 1/3 ou 1/2, suivant qu'il y a trois ou quatre arbres, ce qui donnerait complète sécurité pour les manœuvres.

D'ailleurs, pour diminuer la consommation de vapeur dans le cas de la marche arrière, bien qu'elle n'ait pas alors grande importance, vu son peu de durée, les turbines arrière pourraient, comme pour la marche avant, être montées en série. Il va sans dire que celles correspondant à des turbines HP de marche avant devraient être complètement séparées de celles-ci.

Turbinia II.

Ce paquebot, destiné à la navigation du lac Ontario, n'a que le nom de commun avec le premier navire muni de turbines, car ses dimensions sont beaucoup plus considérables. Ses données sont, en effet, les suivantes :

Longueur	m	79,24
Largeur	m	10,05
Creux	m	6,35
Tirant	m	2,95
Déplacement	tx	1 100
Pression aux chaudières	kg	11,25
Puissance	ch	3 500
Nombre d'arbres		3
— de propulseurs		3
Diamètre des propulseurs	m	1,246
Nombre de tours		650
Vitesse aux essais	nœuds	21,00

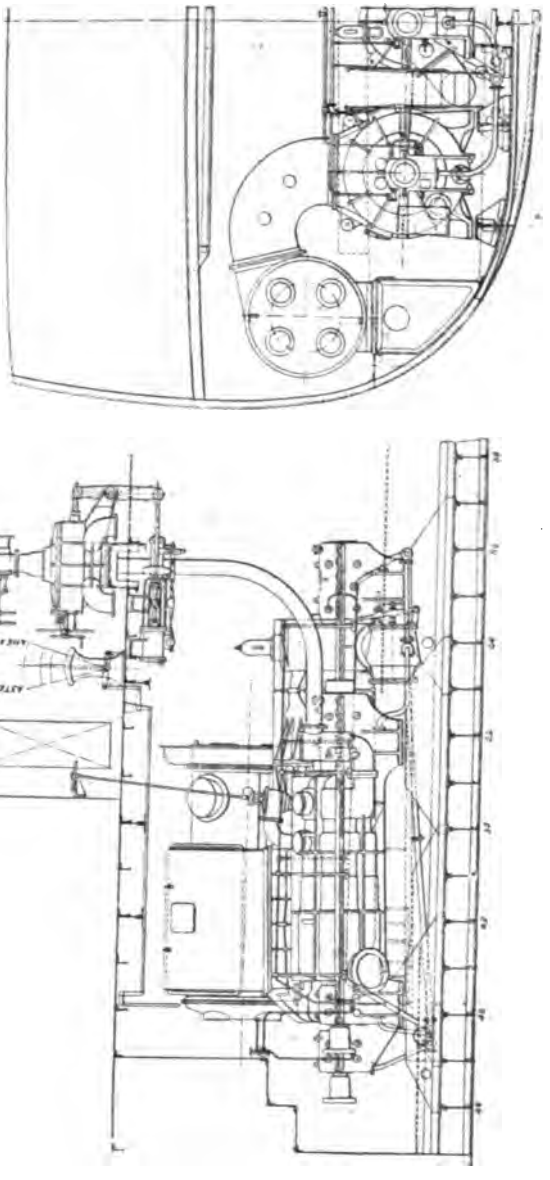
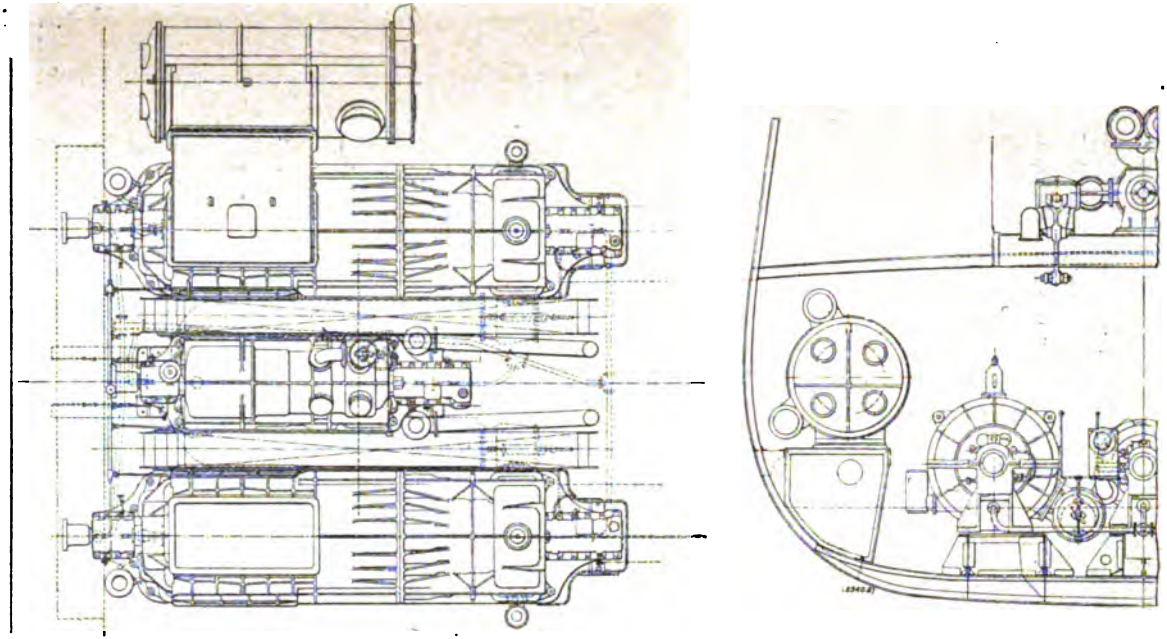


Fig. 4.

Fig. 5.



Ce paquebot se rapproche beaucoup, comme dispositions générales, du *King Edward* et de la *Queen Alexandra*. Ses propulseurs ont à peu près le même nombre de tours que ceux de ces deux paquebots, et lui donnent à peu près la même vitesse.

Depuis sa mise en service, il a parcouru plus de 203 000 milles marins sans aucune avarie. Sa consommation a été d'abord de 2,21 t par heure, à la vitesse de 23 nœuds, ce qui correspond à 0,634 kg par cheval, et diverses modifications apportées à la machinerie auraient ensuite abaissé cette consommation à 0,600 kg alors que les paquebots à machines alternatives auraient eu une consommation de combustible de 0,660 à 0,680 kg.

Étant données l'insuffisance des renseignements, et aussi la difficulté des comparaisons quand on ne connaît pas les données des navires en comparaison, nous pensons qu'on peut tout au moins dire qu'il y a égalité entre les deux systèmes de machines, les turbines gardant en outre leurs avantages propres.

Avec le *Viking* commence la série des paquebots ayant un nombre de tours réduit et des propulseurs de plus grandes dimensions.

Ce paquebot, destiné au service sur l'île de Man, a été construit par la maison Armstrong Witworth, de Newcastle, mais les dispositions de l'appareil évaporatoire et des turbines ont été étudiées par M. Lang, de la Wallsend on Tyne shipway and Engineering C° (ancienne Société Parsons).

Ses caractéristiques sont les suivantes :

Longueur entre perpendiculaires	m	106,68
— hors tout	m	110,30
Largeur au fort hors membrures	m	12,80
Creux au pont principal	m	5,26
— — supérieur	m	7,70
Tirant d'eau	m	3,20
Surface de chauffe (Sc)	m^2	1 858
— de grille (Sg)	m^2	53,88
Rapport $\frac{Sc}{Sg}$		34,4
Diamètre des quatre chaudières	m	4,57
Longueur des quatre chaudières	m	5,94
Pression aux chaudières	kg	11.25
Puissance	ch	9 500

Nombre d'arbres	3
— de propulseurs	3
Diamètre des propulseurs . . . . m	1,98
Nombre de tours, turb. H.P. prop. centᵗ	430
— — — B.P. prop. latˣ	450
Vitesse aux essais. . . . . nœuds	23,53

La disposition des turbines, construites à Wallsend, est la même que dans les paquebots précédents, sauf en ce qui concerne la disposition de la prise de vapeur générale. Le condenseur est muni du « vacuum augmenter » Parsons. Les deux turbines de marche arrière sont plus développées que dans les paquebots similaires.

Les essais de réception ont comporté un aller et retour de Souther Point à Flamborough Head, c'est-à-dire un parcours de 68,277 milles marins par trajet (127 km). Les deux trajets ont été exécutés de manière à éliminer autant que possible l'influence de la marée. La vitesse moyenne réalisée a été de 23,53 nœuds. Avec la marée, elle a atteint 23,684 nœuds, et était encore de 23,375 nœuds avec la marée contraire.

L'essai a duré sept heures, sans utiliser toute la vapeur produite par les chaudières.

Des expériences de giration, exécutées par forte brise, à la vitesse de 20 nœuds, ont montré que le diamètre du cercle parcouru ne dépassait pas 450 m, soit 4,2 fois la longueur du navire.

C'est là un résultat très intéressant, qui montre qu'avec des hélices bien proportionnées et un nombre de tours encore élevé, le rayon de giration est à peu près le même que celui obtenu avec des machines alternatives et des hélices plus grandes.

Il est regrettable qu'on ne connaisse pas des résultats de consommation en service, car, avec le nombre de tours indiqué, l'utilisation des propulseurs a dû être meilleure que celle des paquebots précédents, et on aurait pu voir de combien, à peu près, avait baissé le coefficient de rendement de la turbine. Cette baisse a dû être très faible, car la vitesse moyenne de 23,53 nœuds dénote un rendement global très satisfaisant.

« Londonderry », « Manxman ».

Ces deux paquebots à turbines appartiennent au Midland Railway et desservent : le premier, la ligne d'Heysham (comté de Lancaster) à Belfast (Irlande); le second, celle d'Heysham à l'île de Man.

Le premier a été construit par la maison Denny Brothers, et le second par Wickers Maxim and C°, de Barrow in Furness.

L'étude complète de ces deux paquebots et des résultats comparatifs qu'ils ont donnés avec les paquebots *Antrim* et *Donegal*, de mêmes dimensions, mais mus par des machines alternatives, serait des plus intéressantes, mais sortirait du cadre de ce travail; aussi nous bornerons-nous à en donner les principaux chiffres et les résultats sommaires.

Le *Londonderry* est absolument semblable à l'*Antrim* et au *Donegal*, dont il ne diffère que par le tirant d'eau, les turbines ayant permis une économie de poids de 200 t.

Quant au *Manxman*, sa seule différence avec les trois autres paquebots, en dehors du tirant d'eau, qui est un peu moindre, bien que les turbines soient plus développées et par suite plus économiques que sur le *Londonderry*, consiste en un accroissement de largeur de 0,305 m.

Ces quatre paquebots ont été soumis à deux séries d'essais. La première, destinée à s'assurer qu'ils remplissaient les conditions du marché, qui stipulait une vitesse de 20 nœuds maintenue pendant six heures avec deux chaudières seulement en feu, et 300 t de charge à bord.

La seconde, exécutée en service, était destinée à étudier les mérites comparatifs des machines alternatives et des turbines, et à déterminer les consommations de vapeur et de combustible des deux systèmes de moteurs.

Il faut noter que le *Londonderry* fonctionnait à une pression de régime plus faible que l'*Antrim* et le *Donegal*, et que, d'autre part, ses turbines étaient beaucoup moins développées que celles du *Manxman*, qui fonctionnaient à la même pression que les machines alternatives de l'*Antrim* et du *Donegal*, et pouvaient par suite développer environ 25 0/0 plus de puissance que celles du *Londonderry*.

Les caractéristiques de ces quatre paquebots sont données par le tableau ci-après :

	MACHINES ALTERNATIVES	TURBINES	
	ANTRIM DONEGAL	LONDON-DERRY	MANXMAN
Longueur . . . . . m	100,58	100,58	100,58
Largeur au fort . . . . . m	12,81	12,81	13,115
Creux à la ligne droite du pont principal . . . . . m	5,485	5,485	5,485
Creux à la ligne droite du pont supérieur . . . . . m	7,770	7,770	7,770
Tirant d'eau moyen . . . . . m	4,114	3,962	3,994
Volume de carène . . . . . m³	2534	2339	2422
Rapport du volume au parallélipipède .	0,479	0,479	0,479
Déplacement. . . . . tx	2600	2400	2485
Déplacement par centimètre d'immersion à la flottaison . . . . . tx	13,3	13,3	13,6
Diamètre des chaudières . . . . . m	4,727	4,727	4,727
Longueur des chaudières double ended m	6,710	6,710	6,710
— de la chaudière simple ended m	3,355	3,355	3,355
Nombre de chaudières double ended . .	2	2	2
Nombre de chaudières simple ended . .	1	1	1
Nombre total de foyers.	15	15	15
Surface de chauffe (Sc) . . . . . m²	1157,62	1157,62	1157,62
— de grille (Sg). . . . . m²	37,35	37,35	37,35
Rapport $\frac{Sc}{Sg}$	30,99	30,99	30,99
Pression aux chaudières . . . . . kg	14,06	10,54	14,06
Diamètre du cylindre H. P.. . . . . m	0,584	»	»
— — M. P.. . . . . m	0,914	»	»
— des cylindres B. P. . . . . m	1,067	»	»
Course . . . . . m	0,762	»	»
Nombre de propulseurs.	2	3	3
Diamètre du propulseur central. . . m	»	1,524	1,880
— des propulseurs latéraux. . m	3,352	1,524	1,702
Pas du propulseur central . . . . . m	»	1,372	1,702
Pas des propulseurs latéraux . . . . m	4,085	1,372	1,524
Rapport $\frac{P}{D}$ du propulseur central . . .	»	0,899	0,905
— des propulseurs latéraux . .	1,218	0,899	0,893
Nombre d'ailes des propulseurs	3	3	4

Les essais de réception ont donné les résultats ci-après :

	MACHINES ALTERNATIVES	TURBINES	
	ANTRIM DONEGAL	LONDON-DERRY	MANXMAN
1° *Essais sur bases* :			
Vitesse réalisée avec 2 chaudières double ended. . . . . nœuds	21	21,9	23
Vitesse réalisée avec 2 chaudières double ended et 1 simple ended . . nœuds	21,9	22,27	23,141
2° *Essais de 6 heures* :			
Vitesse avec 2 chaudières double ended (conditions du marché). . . nœuds	20,6	21,6	22,65

Les paquebots à turbines se sont donc montrés, à égalité de chaudières en feu, supérieurs aux paquebots à machines alternatives. L'économie de poids réalisée (200 t sur le *Londonderry* et 115 t sur le *Manxman*) n'est pas étrangère à ce résultat, mais c'est un bénéfice à l'actif des turbines, qui ont permis de le réaliser. Le *Londonderry* a été inférieur au *Manxman* en raison de la pression moins forte de ses chaudières et aussi du moindre développement de ses turbines, qui, à grande vitesse, ont dû fonctionner avec introduction directe de vapeur au milieu de la turbine, ce qui est peu économique.

L'étude détaillée des causes d'infériorité demanderait une analyse assez longue; nous nous bornerons à donner les conditions de marche des turbines à 22,27 et 23 nœuds, vitesses des essais sur bases.

	LONDONDERRY	MANXMAN
Pression aux chaudières . . . . . kg	10,546	14,062
— à l'entrée de la turbine H. P.. . —	9,491	12,655
— — des turbines B. P.. . . —	0,843	1,336
Vide au condenseur	0,711	0,736
Nombre de tours. Arbre central, turbine H. P.	670	530
— — Arbres latér., turbine B. P.	750	620
Vitesse réalisée. . . . . nœuds	22,27	23 »

Ce tableau fait ressortir nettement les causes de la supériorité

du *Manxman* sur le *Londonderry*. Le premier, avec sa pression de régime plus élevée et ses turbines plus développées, a un meilleur rendement au point de vue turbines. D'autre part, le nombre moins grand de tours et le diamètre plus grand de ses propulseurs lui donnent aussi un rendement plus considérable au point de vue propulseur. Son rendement global doit donc être sensiblement meilleur que celui du *Londonderry*. Les consommations de vapeur relevées en service ont confirmé cette supériorité de rendement.

L'abaissement du nombre de tours des propulseurs du *Manxman* par rapport au *Londonderry* n'est pas moindre de 20,9 0/0 pour l'hélice centrale et 17,3 0/0 pour les hélices latérales, l'augmentation de rendement des propulseurs du premier doit donc être très sensible.

Si on chiffre le bénéfice des paquebots à turbines sur ceux à machines alternatives, on arrive aux résultats suivants pour la vitesse :

	LONDONDERRY		MANXMAN	
	BÉNÉFICE		BÉNÉFICE	
	absolu	0/0	absolu	0/0
	nœuds		nœuds	
Avec 2 chaudières double ended.	0,90	4,3	2 »	9,55
— 2 chaud. double et 1 simple ended. . .	0,37	1.7	1,241	5,90
— 2 — — Inded (essai de 6 heures	1 »	7,85	2,080	9,98

L'avantage au point de vue de la vitesse est donc très net. Toutefois il est moins prononcé avec les trois chaudières en feu qu'avec les deux chaudières double inded seulement, ce qui semblerait indiquer que les turbines auraient pu être même plus avantageuses si on avait consenti à perdre un peu sur leur poids. On n'aurait pas été obligé de recourir à l'admission directe toujours fâcheuse au point de vue de la consommation.

Comme les paquebots à turbines sont, au point de vue de la surface propulsive moins bien partagés que les paquebots à machines alternatives qui ont des hélices plus grandes, la supériorité des turbines en elles-mêmes est donc plus grande que ne l'indiquent les rapports indiqués plus haut *(Pl. 121)*.

Le recul des hélices mues par machines alternatives n'a été, pour 21 nœuds, que de 13,4 0/0, alors que pour la même vitesse

il s'élevait à 21 0/0 pour les hélices mues par turbines et atteignait même 24.2 0/0 à 23 nœuds. Ce sont là des reculs considérables, mais qui ne permettent cependant pas de dire que les hélices mues par turbines étaient mauvaises, car on rencontre des valeurs analogues avec les machines alternatives sur des navires ayant de très bonnes utilisations.

Il y a là, néanmoins, une indication bien nette, d'autant plus que de 21 à 24,2 nœuds, la courbe des reculs se relève rapidement, ce qui semble indiquer que la vitesse est voisine de celle correspondant à la pression limite sur l'aile du propulseur et à la cavitation.

Ces essais de réception, très intéressants, ne sont cependant pas complets, car il y manque la mesure de la consommation de vapeur ou d'eau, qui n'a pu y être évaluée en raison de leur durée trop faible.

Des chiffres de consommation, relevés en service par M. Gray, adjoint du professeur Biles, et qui a dirigé avec lui la construction des paquebots, viennent heureusement combler cette lacune.

La consommation de vapeur a été relevée en service au moyen des coups de piston des pompes alimentaires Weir à allure lente, qui donnent avec une erreur très faible la quantité d'eau réellement envoyée aux chaudières.

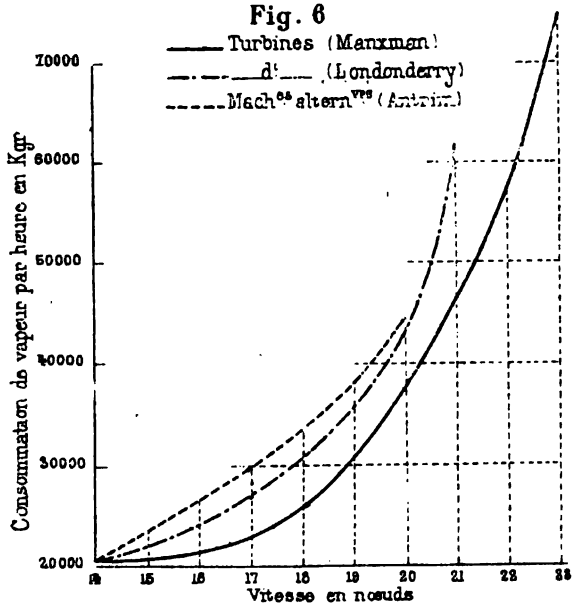
Les moyennes des chiffres relevés dans ces conditions sont les suivantes :

	MACHINES ALTERNATIVES	TURBINES	
	ANTRIM DONEGAL	LONDON-DERRY	MANXMAN
Consommation à 14 nœuds . . . . kg	20 443	20 443	20 443
— 17 — . . . . —	30 438	27 712	22 439
— 20 — . . . . —	44 667	43 043	38 707
— 22 — . . . . —	»	61 785	56 787
— 23 — . . . . —	»	»	76 594

A 14 nœuds, la consommation est la même pour les quatre paquebots, mais de 14 à 20 nœuds, vitesse maxima à laquelle elle a été mesurée pour les paquebots à machines alternatives, elle croît pour ceux-ci beaucoup plus vite que pour les paquebots à turbines *(fig. 6)*.

COMPARAISON DES CONSOMMATIONS
DE VAPEUR

Fig. 6



Si on prend comme unité la consommation à 14 nœuds, on arrive aux résultats ci-après :

	MACHINES ALTERNATIVES	TURBINES	
	ANTRIM DONEGAL	LONDON-DERRY	MANXMAN
A la vitesse de 14 nœuds . . . . . kg	1	1	1
— 17 — . . . . . —	1,49	1,36	1,11
— 20 — . . . . . —	2,18	2,11	1,90
— 22 — . . . . . —	»	3,04	2,78
— 23 — . . . . . —	»	»	3,74

L'économie de vapeur est donc nettement en faveur des paquebots à turbines et elle est plus grande pour le *Manxman* en raison de la meilleure utilisation de la vapeur dans des turbines de plus grandes dimensions.

En résumé, les résultats obtenus en service pendant la période qui va du 1^er^ septembre 1904 au 24 juin 1905 ont été les suivants :

	MACHINES ALTERNATIVES		TURBINES	
	Antrim	Donegal	Londonderry	Manxman
Nombre de traversées.	77	81	90	68
Temps de marche en pleine vitesse. heures	5,78	6,07	5,81	5,35
0/0 du temps de marche à la durée totale de la tenue sous pression.	85	87,77	85,77	79,5
Combustible brûlé par traversée . . . . . t	36,7	37,2	36,1	39,6

L'ensemble des résultats obtenus en service confirme donc les conclusions qu'on peut tirer des essais tant au point de vue de la vitesse que de la consommation de vapeur. Si on ajoute au bénéfice de vitesse et de consommation le bénéfice de poids, qui n'est pas moindre de 7,7 0/0 pour le *Londonderry* et de 4,4 0/0 pour le *Manxman*, on voit que dans ce cas spécial, où les comparaisons ont pu être faites aussi exactement que possible, la supériorité des turbines sur les machines alternatives ne peut faire aucun doute.

C'est en raison de cette occasion peut-être unique de résultats comparatifs exacts, que nous nous sommes aussi longuement étendu sur cette installation.

Dans les autres cas, faute de point de comparaison exact, on ne peut en effet considérer que les résultats en eux-mêmes et souvent le doute persiste malgré les avantages constatés.

« Princesse-Élisabeth ».

Ce paquebot de la ligne d'Ostende-Douvres a été construit par la Société Cockerill pour la coque et les appareils principaux. Les turbines ont été construites à Wallsend on Tyne.

La prise de vapeur générale étudiée à Seraing diffère notablement de celle en usage sur les paquebots construits en Angleterre. Elle est plus ramassée et sa manœuvre est aussi plus rapide, bien qu'elle soit très douce.

Les données de la *Princesse-Elisabeth* sont les suivantes :

Longueur entre perpendiculaires. .	m	104,85
Longueur hors tout	—	108,13
Largeur au fort.	—	12,192
Creux à la ligne droite des barrots du pont supérieur.	—	7,087

Tirant d'eau	m	2,896
Déplacement	tx	1 950
Pression aux chaudières	kg	10
Puissance	ch	10 000
Nombre d'arbres		3
Nombre de propulseurs		3
Nombre de tours des propulseurs		490
Vitesse aux essais	nœuds	24
Vitesse en service	—	23

La vitesse est très régulière et varie rapidement avec l'ouverture de la prise de vapeur générale. Elle dépasse de 6 à 12 0/0 celle des paquebots à roues de la même ligne, suivant leur ancienneté, sans que la consommation de combustible par traversée dépasse de plus de 4 0/0 celle de ces paquebots.

Sa mise en service est encore trop récente pour qu'on puisse donner des chiffres exacts de consommation, mais on a pu constater déjà que, malgré la supériorité de vitesse, l'augmentation totale était faible, c'est-à-dire que la consommation par cheval est plus réduite qu'avec les machines alternatives à roues.

« Victorian » et « Virginian ».

Avec le *Victorian* et le *Virginian* de la ligne Allan nous arrivons à la première installation de turbines à bord de navires de grand déplacement.

Les données de ces deux paquebots sont en effet les suivantes:

Longueur	m	164,59
Largeur	m	18,28
Creux	m	12,95
Tirant d'eau moyen	m	8,38
Déplacement	tx	13 000
Pression aux chaudières	kg	12,655
Puissance développée	ch	12 000
Nombre d'arbres		3
Nombre de propulseurs		3
Diamètre des propulseurs	m	2,895
Nombre de tours aux essais		267 et 275
Vitesse réalisée	nœuds.	19,5 et 19,8

Ces deux paquebots ont été construits, le premier par Work-Clark et man, qui ont également exécuté les turbines sur des

dessins de Parsons, le second par Alexandre Stevens and Sons, de Glasgow. Les turbines de ce dernier paquebot ont été construites par Parsons.

Les turbines avaient été étudiées pour une vitesse de 17 nœuds avec 300 tours, mais aux essais sur base, la vitesse a été de 19,5 et 19,8 avec 277 et 295 tours. Le pas des hélices était donc trop grand. En le réduisant de manière à obtenir les 300 tours prévus, le coefficient de rendement des turbines augmenterait sans que celui des propulseurs varie beaucoup, et il y aurait en somme augmentation du rendement global.

En service, les résultats ont été inférieurs à ceux des essais, ce qui n'est pas étonnant, la vitesse moyenne d'un voyage de plusieurs jours étant toujours plus faible que celle d'un parcours sur base ; il fallait d'ailleurs que le personnel prît l'habitude de la nouvelle machinerie.

La perte fut cependant considérable pour le *Victorian* qui, à son premier voyage ne dépassa guère 13,5 à 14 nœuds. Sa marche fut, il est vrai, contrariée par des incidents de chaudières, des entraînements d'eau dans les turbines qui, s'ils ne causèrent aucune avarie, gênèrent néanmoins la marche régulière de celles-ci.

Au départ il y avait surimmersion sensible, ce qui retardait la marche.

Les chaudières du type écossais ayant 46,22 m² de surface de grille et 2 924,31 m² de surface de chauffe, ce qui donne un rapport de 39,4 entre les deux surfaces, donnèrent lieu à une série d'ennuis pendant le premier voyage, ainsi que le vide des condenseurs très volumineux.

Ils ont en effet 2,18 m de diamètre et 4,42 m de long, 789,65 m² de surface refroidissante en tubes de 19 mm de diamètre extérieur.

Les turbines ont les dimensions extérieures suivantes :

Turbine HP	longueur	m	4,265
	diamètre	m	2,130
Turbine BP	longueur	m	6,400
	diamètre	m	3,350
Section de la tubulure d'entrée au condenseur	longueur	m	2,030
	largeur	m	1,525
	surface	m²	3,10

Les hélices latérales sont de 1,525 m en avant de l'hélice centrale.

Le second voyage du *Victorian* fut meilleur, mais il resta toujours inférieur à son sistership le *Virginian*, construit sur les mêmes plans, mais dont les turbines venaient de Wallsend.

Après un voyage aller et retour assez médiocre, il fit le second voyage de Liverpool au Cap Race en 4 jours 6 heures, au lieu de 6 jours 22 heures pour le premier et alors que le *Victorian* avait mis 7 jours 22 heures 50 minutes.

Le *Virginian* battait le meilleur paquebot à machines alternatives de la Compagnie, le *Bavarian*, malgré un mauvais temps continuel et un détour de 250 milles occasionné par les icebergs.

Ces deux applications, malgré les défectuosités constatées sur le *Victorian* ont montré que les craintes exprimées au sujet de l'application des turbines aux carènes de grandes dimensions étaient au moins exagérées.

Sans doute les résultats obtenus sur le *Victorian* et le *Virginian*, tout en étant très encourageants, ne sont pas tout à fait probants, car la consommation de combustible pendant le premier voyage, le seul sur lequel on ait des renseignements exacts, paraît avoir été plus forte qu'avec des machines alternatives.

L'insuffisance du vide, si important avec les turbines, suffit d'ailleurs pour expliquer une bonne partie de cet excès de consommation.

Quoi qu'il en soit, les résultats économiques ont dû notablement s'améliorer dans les voyages suivants puisque la Compagnie Allan va commander, paraît-il, deux nouveaux paquebots à turbines.

On a d'ailleurs mis à profit les renseignements qu'ils ont donnés dans l'installation des turbines à bord de la *Carmania*, paquebot de 30 000 tonneaux de la Compagnie Cunard.

« Carmania ».

Ce paquebot, du même type que la *Caronia* qui est mû par des machines alternatives, a les caractéristiques suivantes :

Longueur entre perpendiculaires. .	m	198,116
Longueur hors tout.	m	204,365
Largeur.	m	21,00
Creux au pont principal.	m	15,85

Creux à la passerelle de navigation.	m	27,43
Creux au haut des cheminées . . .	m	43,89
Creux au haut des mâts	m	62,48
Tirant d'eau moyen en ordre de marche	m	10,140
Déplacement.	tx	30 000
Tonnage brut	tx	19 524
Capacité de charge.	t	10 000
Surface de chauffe.	m²	15 041,5
Pression aux chaudières	kg	13,700
Hauteur des cheminées au-dessus des grilles	m	41,150
Puissance développée.	ch	21 000
Vitesse réalisée.	nœuds	20,19

Aux essais, la vitesse a été calculée par la méthode de la moyenne des moyennes. Elle a été maintenue pendant 6 heures, alors que le traité ne demandait que 19 nœuds. Si on eût simplement pris la moyenne des divers parcours, elle eût été de 20,24 n.

Au cours des essais, on a fait des expériences de giration pour se rendre compte des qualités évolutives du navire. Elles ont été exécutées à grande vitesse ; malheureusement un temps à grains a empêché de les terminer complètement, le bateau-témoin ayant été masqué par une série de grains. Une comparaison avec le cercle de giration de la *Caronia* eût cependant été intéressante, en raison de la différence de diamètre des hélices des deux paquebots.

On a bien fait, pendant les essais progressifs qui ont précédé les essais officiels, quelques essais de giration, mais ils ne peuvent remplacer une expérience complète.

Cependant, à 15,7 nœuds, en mettant la barre toute d'un bord, on put faire rapidement abattre le navire d'une quantité proportionnelle à l'angle de barre. La manœuvre dura 3′ 33″, depuis le moment où fut donné l'ordre, et s'exécuta sur un parcours de 950 m, très court, étant donnée la longueur du navire. Cette observation a d'ailleurs été faite par mer calme et sans brise, ainsi que sans influence appréciable de marée.

La faible durée des essais officiels, 6 heures, n'a pas permis de relever des chiffres de consommation. Il faudra, pour en avoir, attendre que le navire ait fait un certain nombre de traversées.

La coque ainsi que les turbines de la *Carmania* ont été construites par la maison John Brown, qui s'est livrée à une série d'études sur les meilleures dispositions à donner à ces dernières, étant données leurs grandes dimensions, et qui avait préludé à leur étude par la construction d'un groupe de turbines de 1 950 ch qui a été soumis à une série d'essais *(Pl. 121)*.

Les turbines de la *Carmania* sont en effet très volumineuses. La turbine HP n'a pas moins de 2,80 m de diamètre sur 5 m de long, et les turbines BP 3,80 m de diamètre sur 7,90 m de long *(Pl. 120)*.

Dans les mêmes conditions la *Caronia* munie de machines alternatives, a donné 1 nœud de moins que la *Carmania*, et avec carène propre, ce qui n'était pas le cas lors de ses essais. Ce dernier paquebot atteindra probablement 20,6 nœuds au lieu des 19,5 nœuds réalisés, avec carène propre, par la *Caronia*.

La maison John Brown est d'ailleurs également chargée de la construction d'un des grands paquebots Cunard de 25 nœuds et 65 à 70 000 ch.

Grands paquebots Cunard.

Ce paquebot ainsi que celui tout semblable qui sera construit chez Swan Hunter, ont les caractéristiques suivantes:

Longueur . . . . . m	231,645
Largeur . . . . . m	26,82
Tirant d'eau . . . . . m	9,755
Pression aux chaudières. . . .kg	14,765
Nombre d'arbres	4
Nombre de propulseurs	4
Diamètre des propulseurs . . . m	5,25
Nombre de tours	165
Puissance moyenne. . . . . .ch	65 000
Vitesse aux essais . . . . .nœuds	26
Vitesse en service. . . . .nœuds	24,5

Il y aura deux groupes symétriques de turbines HP et BP de chaque bord. Les turbines BP, en raison de leurs grandes dimensions seront les plus rapprochées de l'axe du navire. Elles auront en effet environ 5 m de diamètre et 12 m de long et seront les plus grosses turbines construites, de même que la puissance de l'appareil moteur sera la plus considérable dont ait jamais été doté un navire.

Les turbines seront cependant moins lourdes et moins encombrantes que ne le seraient des machines alternatives de même puissance. Il suffit, pour s'en rendre compte, de connaître les machines du *Deutschland* ou du *Wilhem-der-Grosse*, qui ne développent que 40 000 ch. Les aléas qu'on pourra rencontrer dans la construction et l'installation des turbines ne seront certainement pas plus considérables qu'avec les machines alternatives, et leur emploi présentera l'énorme avantage de la suppression des forces d'inertie alternatives si fâcheuses pour les coques et les machines et si coûteuses pour les grandes puissances.

Là se termine l'examen des dernières installations des turbines Parsons en ce qui concerne les paquebots. On peut se rendre compte des progrès accomplis depuis deux ans.

Nous allons examiner maintenant les installations de ces turbines sur les navires de guerre, installations nécessairement moins nombreuses que celles sur les paquebots. Elles en diffèrent d'ailleurs sur bien des points, le service qu'ont à fournir les navires dans les deux cas étant complètement différent.

Torpilleur n° « 293 ».

A la suite du *Velox*, le contre-torpilleur avec machines alternatives pour les faibles vitesses, construit par Hawthorn Leslie de Newcastle, pour la marine anglaise, le Gouvernement français décida d'appliquer des turbines Parsons au torpilleur n° *293*, de la même série que le n° *243*, muni de turbines Rateau, afin de pouvoir faire des comparaisons.

La construction de la coque fut confiée à notre collègue, M. Normand, du Havre, et les turbines commandées à Walsend on Tyne.

Les caractéristiques de ce torpilleur sont indiquées ci-après :

Longueur	m	39,50
Largeur	m	4,25
Tirant d'eau moyen	m	1,23
Surface du maitre couple	m²	3,83
Déplacement	tx	94,87
Nombre et type des chaudières	Normand	2
Surface de chauffe Sc	m²	251,92
Surface de grille Sg	m²	5,35
Rapport $\frac{Sc}{Sg}$		47,1

Pression	kg	17,50
Nombre de propulseurs		3
Diamètre des propulseurs	m	0,787
Pas des propulseurs	m	0,660
Surface projetée des ailes	m²	0,2434
Rapport à la section du cylindre actionné		0,59
Recul du propulseur bâbord (H. P.)		24,01
— — tribord (B. P.)		15,60
— — central (B. P. croisière)		22,50
Recul moyen		20,75
Nombre de tours, propulseur tribord		1 475
— — central		1 605
— — bâbord		1 635
Vide au condenseur	cm	71
Puissance	ch	1 970
Vitesse	nœuds	26,65

Ainsi que l'indique ce tableau, les turbines principales sont montées sur les arbres latéraux, la turbine H. P. à bâbord, la turbine B. P. à tribord. L'arbre central est commandé par une turbine de croisière qui remplace les machines alternatives employées sur le *Velox*. La consommation de combustible à 26,2 nœuds a été de 1,03 kg, c'est-à-dire sensiblement plus élevée que pour les torpilleurs à machines alternatives.

Si, d'autre part, on considère le nombre élevé de tours et aussi le grand rapport de la surface projetée des ailes à la section du cylindre d'eau actionné, il paraît probable qu'on devait être assez près de la vitesse-limite correspondant à la cavitation, ce qui expliquerait aussi l'importance des reculs constatés, et aussi la forte consommation. Le rapport de 0,59 entre la surface projetée des ailes et la section du cylindre d'eau actionné est un des plus forts qui aient été admis. Pour obtenir de bons résultats et éviter le gaspillage de la puissance, ce rapport ne doit pas dépasser 0,52 à 0,55, en raison des interférences qui se produisent avec des ailes de surface plus développée.

Quoi qu'il en soit, le torpilleur n° 293 a obtenu des résultats sensiblement supérieurs au torpilleur n° 243, qui, malgré des changements nombreux d'hélices, n'a pas dépassé 20,54 nœuds, avec des hélices étudiées par M. Delaporte, Directeur des ateliers de la maison Bréguet.

Voici les données de ces croiseurs :

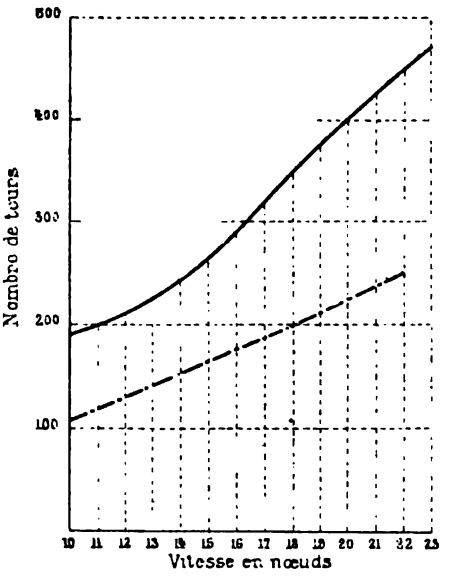
Longueur	m	109,73	
Largeur	m	12,19	
Tirant d'eau	m	4,41	
Déplacement	tx	3000	
Pression aux chaudières	kg	17,57	
Puissance à 10 nœuds . . .	ch	897	
— 14 nœuds . . .	ch	2251	
— 18 nœuds . . .	ch	4700	
— 20 nœuds . . .	ch	7280	
— 22,103 nœuds . . .	ch	9868	
— 22,34 nœuds . . .	ch	10200	(1)
— 23,06 nœuds . . .	ch	11850	
— 23,63 nœuds . . .	ch	13300	

COMPARAISON DES NOMBRES DE TOURS

Fig. 8

——— Turbines (Amethyst)

— — — Mach^es alternat^ves (Topaze)



1 Limite atteinte par les croiseurs à machines alternatives.

	Machines alternatives.	Turbines.
Nombre de tours à 10 nœuds (moyenne). .	107	189,8
— 14 nœuds — . .	150,5	239,2
— 18 nœuds — . .	196,7	353,1
— 20 nœuds — . .	219,4	403,6
— 22,103 nœuds — . .	245,55	»
— 22,34 nœuds — . .	»	»
— 23,06 nœuds — . .	»	472,5
— 23,63 nœuds — . .	»	477,3

Les données des hélices de l'*Amethyst* étaient les suivantes :

Diamètre.	Hélice tribord . . . . . m	2,033
	— milieu . . . . . m	2,033
	— bâbord . . . . . m	2,033
Pas	Hélice centrale . . . . . m	2,000
	Hélices latérales . . . . . m	1,754
Rapport $\frac{P}{D}$	Hélice centrale	0,862
	Hélices latérales	0,983
Surface projetée des ailes	Hélice centrale . . . . . m^2	1,81
	Hélices latérales . . . . . m^2	1,82
Rapport de la surface projetée à la section du cylindre. .	Hélice centrale. . . .	0,560
	Hélices latérales. . . .	0,558
Reculs moyens.	à 10 nœuds . . 0/0	11,3
	à 14 nœuds . . 0/0	13,4
	à 18 nœuds . . 0/0	13,6
	à 20 nœuds . . 0/0	14,4
	à 23,63 nœuds . . 0/0	18,4

On voit que le rapport de la surface projetée des ailes à la section du cylindre d'eau actionné oscille autour de 0,55, qui est une valeur très admissible sans qu'on ait à craindre des effets trop marqués de la cavitation. D'ailleurs les reculs qui croissent régulièrement montrent bien que, sauf pour la vitesse de 23,63 nœuds, l'utilisation est très bonne.

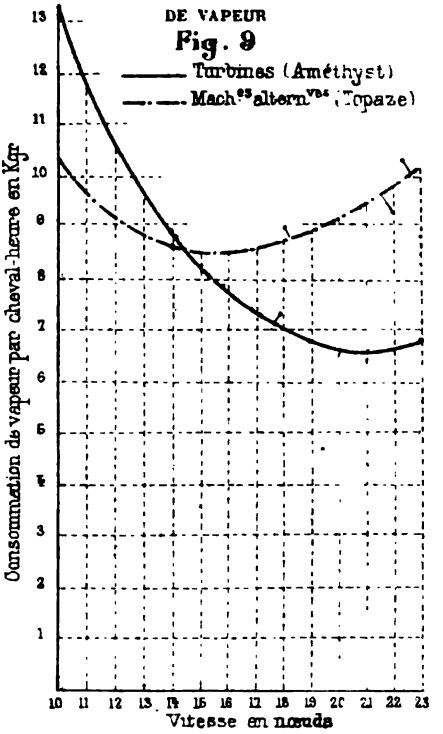
C'est ce qui ressort également de la comparaison des consommations de vapeur à diverses vitesses, qui se chiffrent comme suit :

		Machines alternatives.	Turbines.
Consommation de vapeur à	10 nœuds. kg	10,276	13,276
—	14 nœuds. kg	8,514	8,890
—	18 nœuds. kg	8,939	7,256
—	20 nœuds. kg	8,944	6,258
—	22,103 nœuds. kg	9,151	»
—	22,340 nœuds. kg	10,067	»
—	23,060 nœuds. kg	»	6,767
—	23,63 nœuds. kg	»	6,496

A partir de 15 nœuds environ, l'avantage reste donc aux turbines et croit avec la vitesse. A 23,63 nœuds, l'économie atteint 34 0/0 par rapport à la consommation à 10 nœuds *(fig. 9)*.

COMPARAISON DES CONSOMMATIONS DE VAPEUR

Fig. 9



Au contraire, au-dessous de 15 nœuds, la consommation des turbines est supérieure à celle des machines alternatives.

Encore faut-il remarquer que, lors des essais, toute la vapeur d'echappement des auxiliaires passait dans les cylindres B. P.

des machines alternatives, alors qu'avec les turbines elle se rendait directement au condenseur. Les machines alternatives bénéficiaient donc, de ce chef, d'un travail très appréciable. Des modifications apportées dans ce sens au tuyautage de l'*Amethyst* ont réduit la consommation de près de 10 0/0.

Le nombre de tours à la plus grande vitesse n'a pas dépassé, pour les turbines, 477; à 18 nœuds, il n'était que de 353, ce qui explique le bon rendement global obtenu.

Sans doute, faute de hauteur, les machines alternatives des croiseurs étaient établies dans de mauvaises conditions: la course était trop faible; mais cet exemple même montre que les turbines peuvent s'installer dans de bonnes conditions où il n'est pas possible d'installer des machines alternatives.

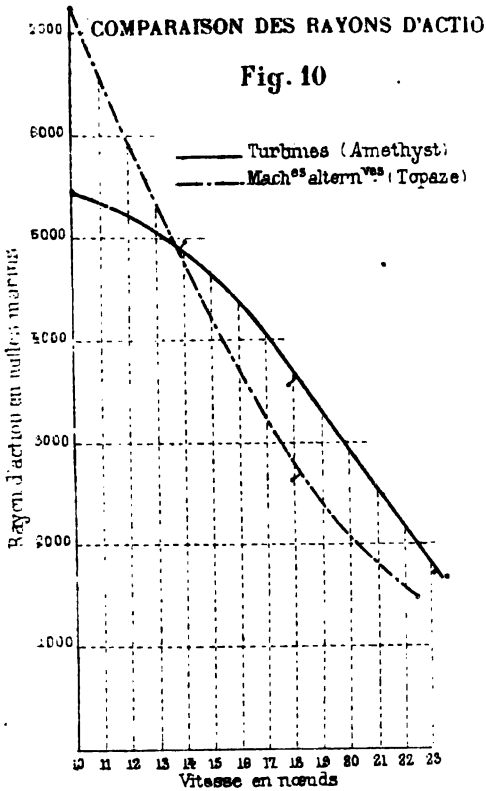


Fig. 10

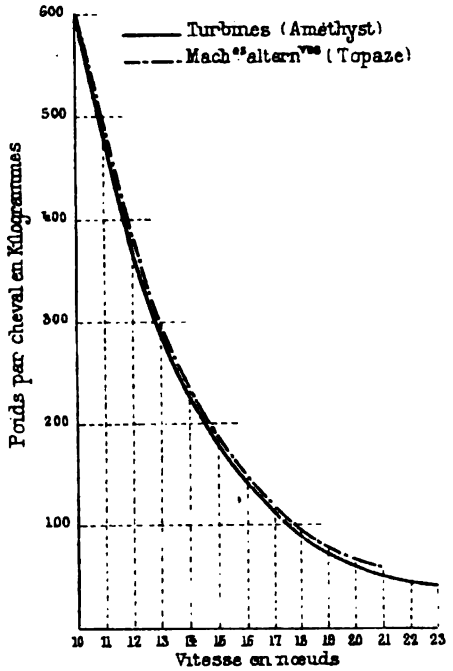
L'économie croissant pour les turbines avec la vitesse, a pour résultat d'augmenter le rayon d'action du croiseur. Si on se reporte aux consommations indiquées plus haut, les rayons

d'action respectifs des machines alternatives et des turbines sont les suivants : *(fig. 10)*

		Machines alternatives.	Turbines.
Rayon d'action à	10 nœuds . milles	7 237	5 415
—	14 nœuds . milles	5 017	4 920
—	18 nœuds . milles	2 621	3 585
—	20 nœuds . milles	2 085	3 005
—	21,826 nœuds . milles	1 297	»
—	22,103 nœuds . milles	1 387	»
—	22,340 nœuds . milles	1 432	»
—	23,06 nœuds . milles	»	1 655
—	23,63 nœuds . milles	»	1 597

COMPARAISON DES POIDS

Fig. 11



Le rayon d'action est donc très sensiblement accru à partir de 18 nœuds.

Enfin, si on compare les poids, on trouve que le bénéfice est

bien inférieur à celui trouvé sur les paquebots, en raison de la présence de turbines de croisière. Le poids est assez élevé pour les faibles vitesses et comparable à celui des machines alternatives, mais il devient plus avantageux que ce dernier à partir de 18 nœuds.

Voici les poids par cheval-vapeur aux différentes vitesses *(fig. 11)* :

	Machines alternatives.	Turbines.
Poids à 10 nœuds. . . . . kg	598	591,9
— 14 nœuds. . . . . kg	238,5	235
— 18 nœuds. . . . . kg	112,5	111
— 20 nœuds. . . . . kg	73,7	72,8
— 22 nœuds. . . . . kg	55,8	»
— 23 nœuds. . . . . kg	»	40,7
— 23,63 nœuds. . . . . kg	»	37,8

En résumé, on voit que l'*Amethyst* l'emporte sur ses similaires à partir de 15 nœuds, tant au point de vue de la consommation que du rayon d'action qui en est la conséquence et du poids par cheval.

« Dreadnought ».

Cette expérience a paru si intéressante à l'Amirauté anglaise qu'elle étudie en ce moment un croiseur dont les caractéristiques ne sont pas encore définitivement arrêtées, mais se rapprochant des suivantes et qui aura des turbines comme moteurs.

Déplacement . . . . . tx	18 à 20 000
Puissance . . . . . ch	23 000
Vitesse . . . . . nœuds	21
Nombre de propulseurs.	4
Nombre de tours des propulseurs . .	300
Diamètre des propulseurs. . . . . m	2,82
Pression aux chaudières . . . . kg	17,57

Ce sera la première application à un navire de guerre d'aussi grandes dimensions.

Croiseur « Lubeck ».

De son côté, la marine allemande a également essayé les turbines Parsons sur un croiseur de 3e classe, le *Lubeck*, de même type que le croiseur *Hamburg*, mû par machines alternatives.

Les caractéristiques de ces croiseurs sont :

Longueur	m	103,94
Largeur	m	13,18
Tirant d'eau	m	5,025
Déplacement	tx	3200
Puissance	ch	10000
Vitesse maxima	nœuds	23,5
Nombre de tours	(turbines)	650
Nombre d'arbres	—	4
Nombre de propulseurs	—	8

Le *Hamburg* n'a que deux arbres et deux propulseurs.

La vitesse stipulée par contrat pour le *Lubeck* était de 21,75 nœuds. Il a donné, en eau peu profonde, 23,5 nœuds de vitesse maxima, et la vitesse de 21,5 nœuds a été maintenue pendant huit heures. A 23 nœuds, le navire a mis 1'35" à s'arrêter et battre en arrière, ce qui indique que les turbines de marche arrière sont très puissantes, mais on ne donne pas le parcours qui a dû être considérable.

Des essais comparatifs de consommation, d'une durée de vingt-quatre heures, exécutés à la vitesse de 19,5 nœuds, avec le *Hamburg*, ont donné pour celui-ci une consommation de combustible de 0,980 kg par cheval, alors qu'elle n'était que de 0,910 kg pour le *Lubeck*, bien que la vitesse de 19,5 nœuds, maxima pour le *Hamburg*, ne fût pour lui que 0,89 environ de sa vitesse maxima.

Le *Lubeck* est la dernière application des turbines Parsons à la propulsion des navires de guerre en attendant le *Dreadnought*. Comme pour les paquebots, les applications sont devenues de plus en plus importantes. A ces grands navires viennent encore s'ajouter un certain nombre de torpilleurs de 26 et 33 nœuds; c'est dire que la marine anglaise est entrée résolument dans la voie des turbines.

A ces divers navires, paquebots et navires de guerre munis de

turbines Parsons, il convient encore d'ajouter un croiseur de 3420 tx, l'*Ersatz Wacht*, et un torpilleur de 570 tx dont la construction vient d'être décidée par la marine allemande.

Les caractéristiques de ces deux navires sont les suivantes :

« Ersatz Wacht. »

Longueur	m	110
Largeur	m	13,30
Tirant d'eau	m	4,80
Déplacement	tx	3420
Puissance	ch	13600
Vitesse prévue	nœuds	24

Ce navire sera construit par le chantier Vulcan, de Stettin.

Torpilleur n° « 000 ».

Longueur	m	71
Largeur	m	7,50
Tirant d'eau	m	2,30
Déplacement	tx	570
Vitesse prévue	nœuds	30

Ce navire à grande vitesse sera construit par la Germania Werft, de Kiel.

Nous allons maintenant examiner les applications des autres systèmes de turbines.

Le premier en date est celui dû à M. Rateau, dont malheureusement il n'y a eu qu'une application depuis le torpilleur n° *243* de la marine française.

Yacht torpilleur « Caroline ».

Le torpilleur-yacht *Caroline*, construit par Yarrow, a reçu simultanément une machine alternative sur l'arbre central et deux turbines H. P. et B. P. montées en série sur deux arbres latéraux.

A grande vitesse, machine alternative et turbines fonctionnent simultanément. A petite vitesse, la machine alternative fonctionne seule *(fig. 12)*.

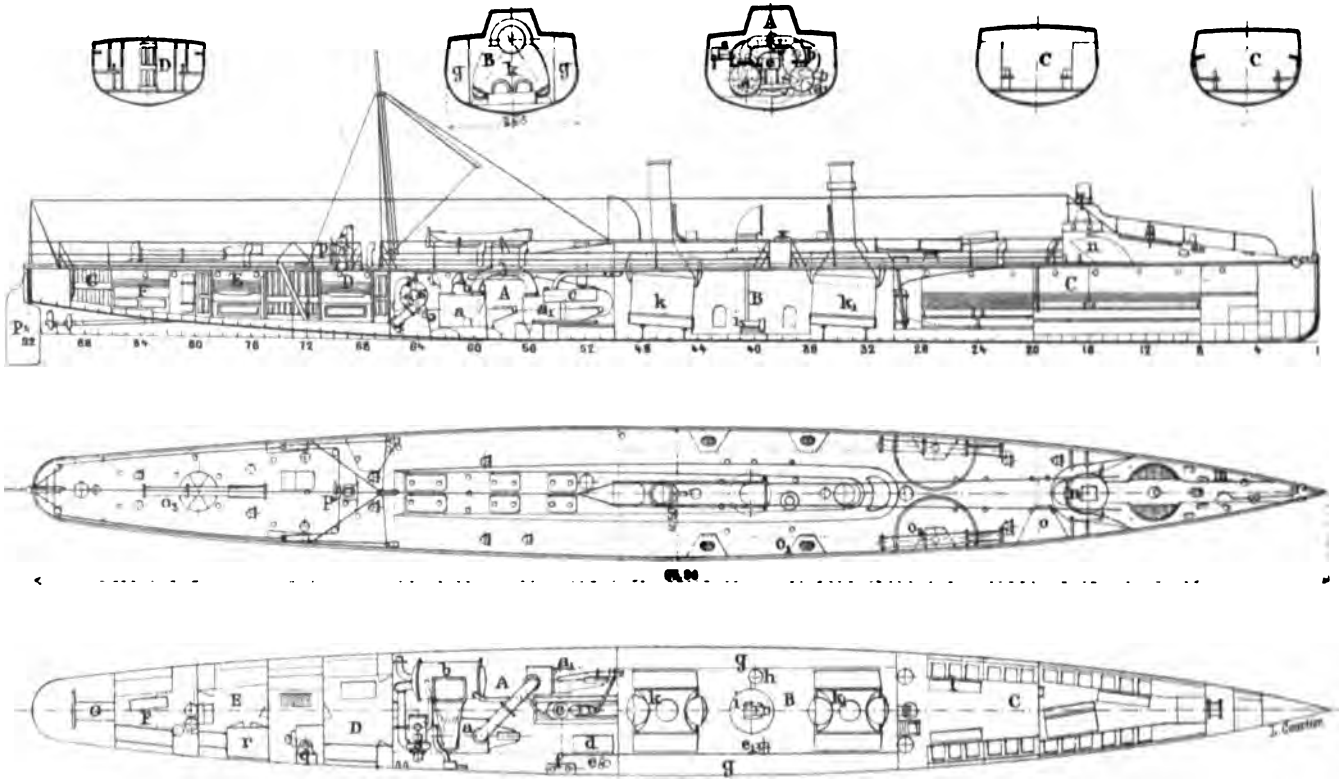


Fig. 12 - Yacht - Torpilleur "Caroline" (Turbines Rateau)

Les données de ce torpilleur-yacht sont les suivantes :

Longueur	m	46,48
Largeur	m	4,58
Creux	m	2,65
Tirant d'eau	m	1,524
Déplacement	tx	140
Nombre d'ailes		3
— de propulseurs		5
Diamètre des propulseurs	m	0,800
Pas des propulseurs	m	0,760
Nombre de tours de la machine pr 27,69 nœuds.		516
— des turbines —		1 556

Ce petit navire a été soumis à plusieurs séries d'essais qui ont donné les résultats indiqués au tableau ci-après ;

	MACHINE seule	MACHINE ET TURBINES		
Vitesse moyenne nœuds.	11,98	18,71	21,92	26,97
Nombre de tours. Machine alternative.	369	411	475	516
— Turbine bâbord H. P.	393	955	1 172	1 455
— — tribord B. P.	395	994	1 357	1 657
Pression à l'entrée de la turbine H. P. kg	»	3,5	7	10
Vide cm	68,07	71,1	69,08	68,3
Recul du propulseur. Machine alternative. 0/0	39,5	21	14	9,7
— Turbine bâbord H. P. 0/0	»	20,6	24,5	30,5
— — tribord B. P. 0/0	»	24	35	39

On voit qu'aux grandes vitesses les reculs des hélices mues par turbines sont très considérables et que, de plus, les deux turbines montées sur les arbres latéraux ne tournaient pas synchroniquement. C'est là un inconvénient commun à toutes les dispositions, quel que soit le système de turbines, qui n'admettent pas aux turbines symétriques de la vapeur de même pression *(fig. 13)*.

L'exagération des reculs semble montrer que les phénomènes de cavitation commençaient à se manifester, et le non-synchronisme, que l'arrivée de la vapeur n'était peut-être pas assez grande pour la turbine tribord, ou que la turbine bâbord recevait trop de vapeur. A la suite de ces essais, on changea les hélices, ce qui améliora les résultats ainsi qu'on peut le voir ci-après :

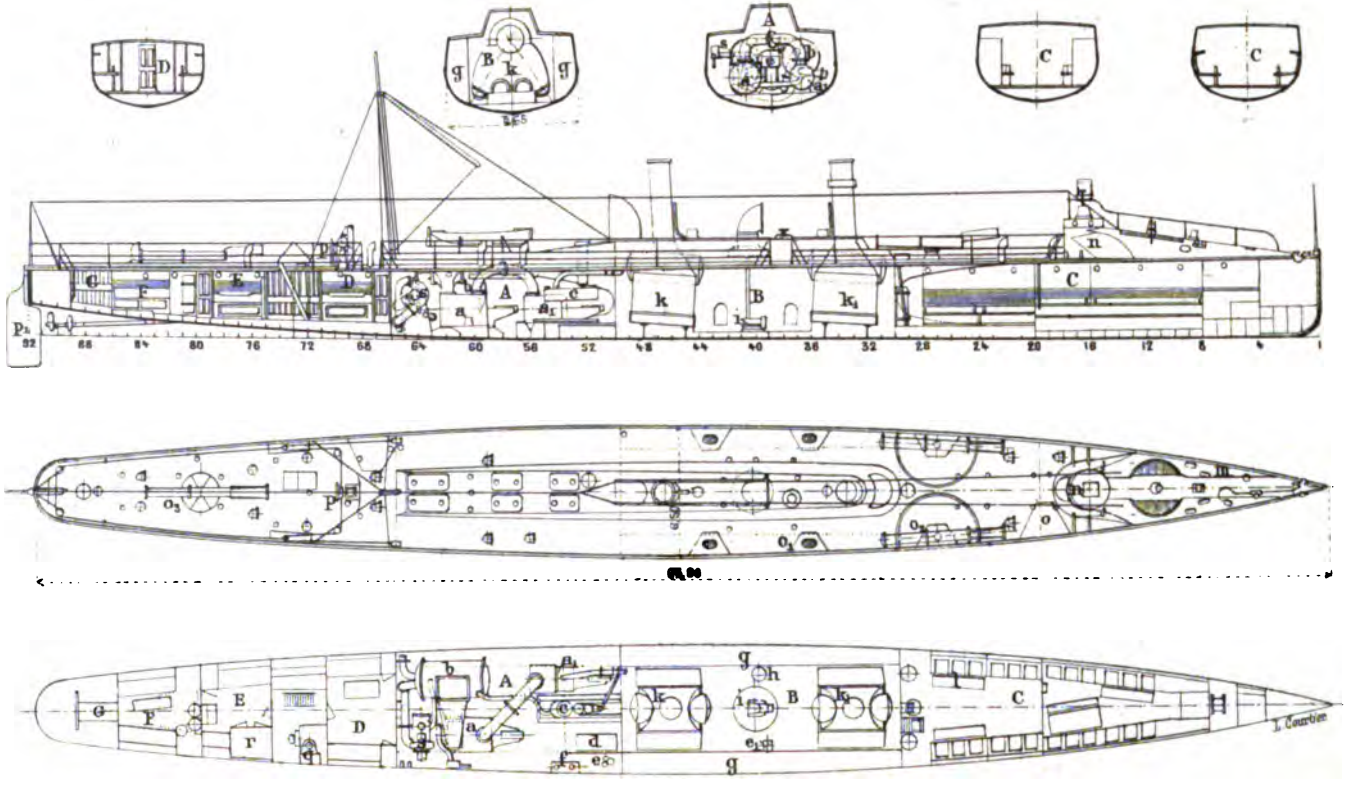


Fig. 12 _ Yacht - Torpilleur "Caroline" (Turbines Rateau)

Les données de ce torpilleur-yacht sont les suivantes :

Longueur	m	46,48
Largeur	m	4,58
Creux	m	2,65
Tirant d'eau	m	1,524
Déplacement	tx	140
Nombre d'ailes		3
— de propulseurs		5
Diamètre des propulseurs	m	0,800
Pas des propulseurs	m	0,760
Nombre de tours de la machine pr 27,69 nœuds.		516
— des turbines —		1 556

Ce petit navire a été soumis à plusieurs séries d'essais qui ont donné les résultats indiqués au tableau ci-après ;

		MACHINE seule	MACHINE ET TURBINES		
Vitesse moyenne	nœuds.	11,98	18,71	21,92	26,97
Nombre de tours. Machine alternative		369	411	475	516
— Turbine bâbord H. P.		393	955	1 172	1 455
— — tribord B. P.		395	994	1 357	1 657
Pression à l'entrée de la turbine H. P.	kg	»	3,5	7	10
Vide	cm	68,07	71,1	69,08	68,3
Recul du propulseur. Machine alternative.	0/0	39,5	21	14	9,7
— Turbine bâbord H. P.	0/0	»	20,6	24,5	30,5
— — tribord B. P.	0/0	»	24	35	39

On voit qu'aux grandes vitesses les reculs des hélices mues par turbines sont très considérables et que, de plus, les deux turbines montées sur les arbres latéraux ne tournaient pas synchroniquement. C'est là un inconvénient commun à toutes les dispositions, quel que soit le système de turbines, qui n'admettent pas aux turbines symétriques de la vapeur de même pression *(fig. 13)*.

L'exagération des reculs semble montrer que les phénomènes de cavitation commençaient à se manifester, et le non-synchronisme, que l'arrivée de la vapeur n'était peut-être pas assez grande pour la turbine tribord, ou que la turbine bâbord recevait trop de vapeur. A la suite de ces essais, on changea les hélices, ce qui améliora les résultats ainsi qu'on peut le voir ci-après :

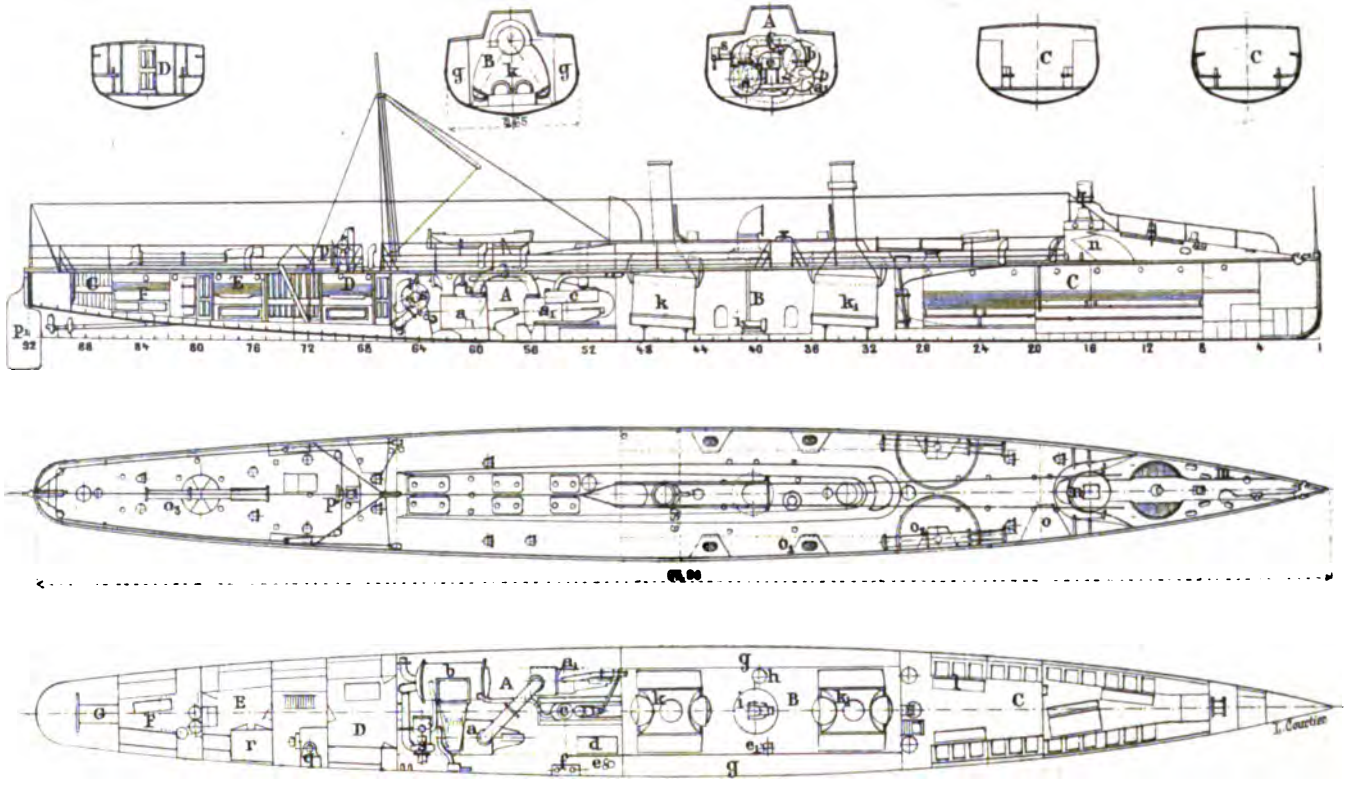


Fig. 12 – Yacht - Torpilleur "Caroline" (Turbines Rateau)

Les données de ce torpilleur-yacht sont les suivantes :

Longueur	m	46,48
Largeur	m	4,58
Creux	m	2,65
Tirant d'eau	m	1,524
Déplacement	tx	140
Nombre d'ailes		3
— de propulseurs		5
Diamètre des propulseurs	m	0,800
Pas des propulseurs	m	0,760
Nombre de tours de la machine pr 27,69 nœuds.		516
— des turbines —		1 556

Ce petit navire a été soumis à plusieurs séries d'essais qui ont donné les résultats indiqués au tableau ci-après ;

	MACHINE seule	MACHINE ET TURBINES		
Vitesse moyenne nœuds.	11,98	18,71	21,92	26,97
Nombre de tours. Machine alternative.	369	411	475	516
— Turbine bâbord H. P.	393	955	1 172	1 455
— — tribord B. P.	395	994	1 357	1 657
Pression à l'entrée de la turbine H. P. kg	»	3,5	7	10
Vide cm	68,07	71,1	69,08	68,3
Recul du propulseur. Machine alternative. 0/0	39,5	21	14	9,7
— Turbine bâbord H. P. 0/0	»	20,6	24,5	30,5
— — tribord B. P. 0/0	»	24	35	39

On voit qu'aux grandes vitesses les reculs des hélices mues par turbines sont très considérables et que, de plus, les deux turbines montées sur les arbres latéraux ne tournaient pas synchroniquement. C'est là un inconvénient commun à toutes les dispositions, quel que soit le système de turbines, qui n'admettent pas aux turbines symétriques de la vapeur de même pression *(fig. 13)*.

L'exagération des reculs semble montrer que les phénomènes de cavitation commençaient à se manifester, et le non-synchronisme, que l'arrivée de la vapeur n'était peut-être pas assez grande pour la turbine tribord, ou que la turbine bâbord recevait trop de vapeur. A la suite de ces essais, on changea les hélices, ce qui améliora les résultats ainsi qu'on peut le voir ci-après :

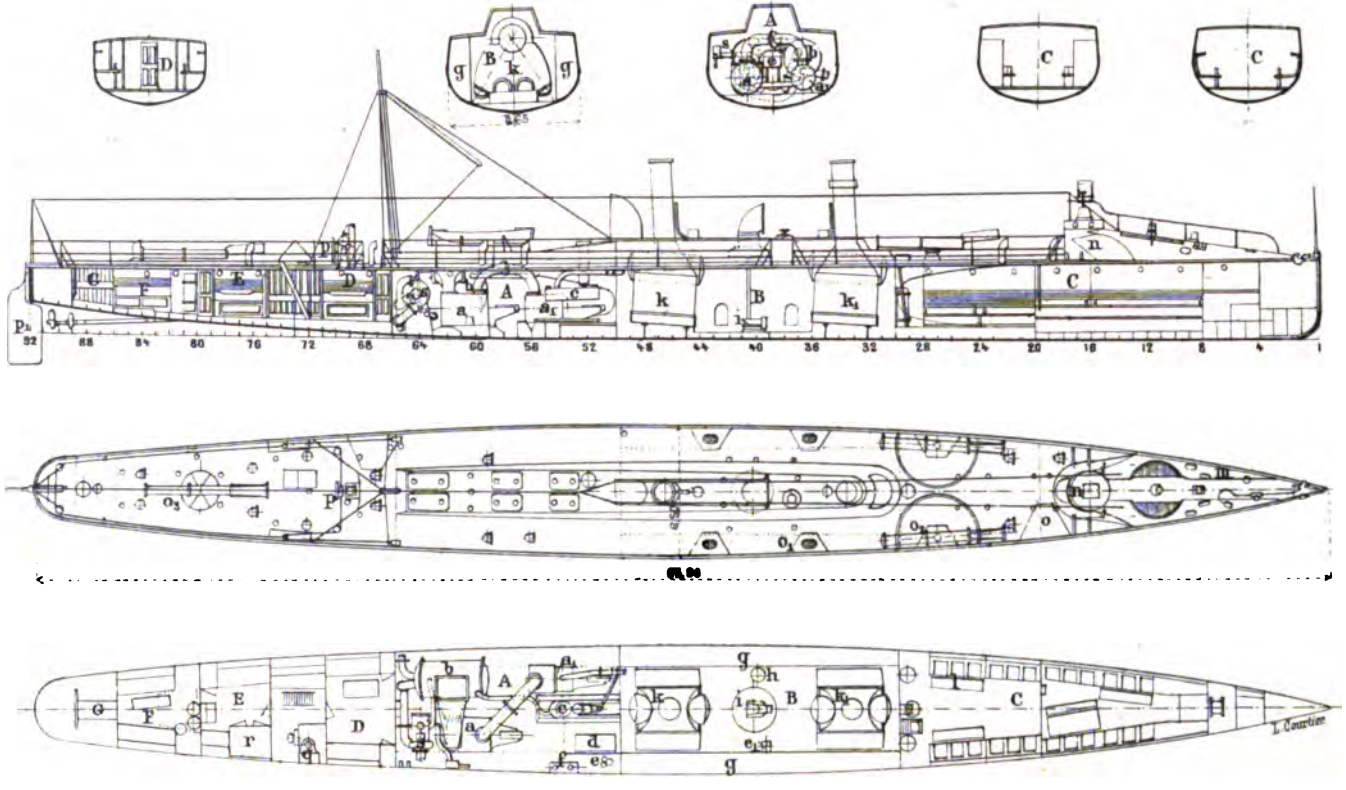


Fig. 12 _ Yacht - Torpilleur "Caroline" (Turbines Rateau)

Les données de ce torpilleur-yacht sont les suivantes :

Longueur	m	46,48
Largeur	m	4,58
Creux	m	2,65
Tirant d'eau	m	1,524
Déplacement	tx	140
Nombre d'ailes		3
— de propulseurs		5
Diamètre des propulseurs	m	0,800
Pas des propulseurs	m	0,760
Nombre de tours de la machine pr 27,69 nœuds.		516
— des turbines —		1 556

Ce petit navire a été soumis à plusieurs séries d'essais qui ont donné les résultats indiqués au tableau ci-après ;

		MACHINE seule	MACHINE ET TURBINES		
Vitesse moyenne	nœuds.	11,98	18,71	21,92	26,97
Nombre de tours. Machine alternative		369	411	475	516
— Turbine bâbord H. P.		393	955	1 172	1 455
— — tribord B. P.		395	994	1 357	1 657
Pression à l'entrée de la turbine H. P.	kg	»	3,5	7	10
Vide	cm	68,07	71,1	69,08	68,3
Recul du propulseur. Machine alternative.	0/0	39,5	21	14	9,7
— Turbine bâbord H. P.	0/0	»	20,6	24,5	30,5
— — tribord B. P.	0/0	»	24	35	39

On voit qu'aux grandes vitesses les reculs des hélices mues par turbines sont très considérables et que, de plus, les deux turbines montées sur les arbres latéraux ne tournaient pas synchroniquement. C'est là un inconvénient commun à toutes les dispositions, quel que soit le système de turbines, qui n'admettent pas aux turbines symétriques de la vapeur de même pression *(fig. 13)*.

L'exagération des reculs semble montrer que les phénomènes de cavitation commençaient à se manifester, et le non-synchronisme, que l'arrivée de la vapeur n'était peut-être pas assez grande pour la turbine tribord, ou que la turbine bâbord recevait trop de vapeur. A la suite de ces essais, on changea les hélices, ce qui améliora les résultats ainsi qu'on peut le voir ci-après :

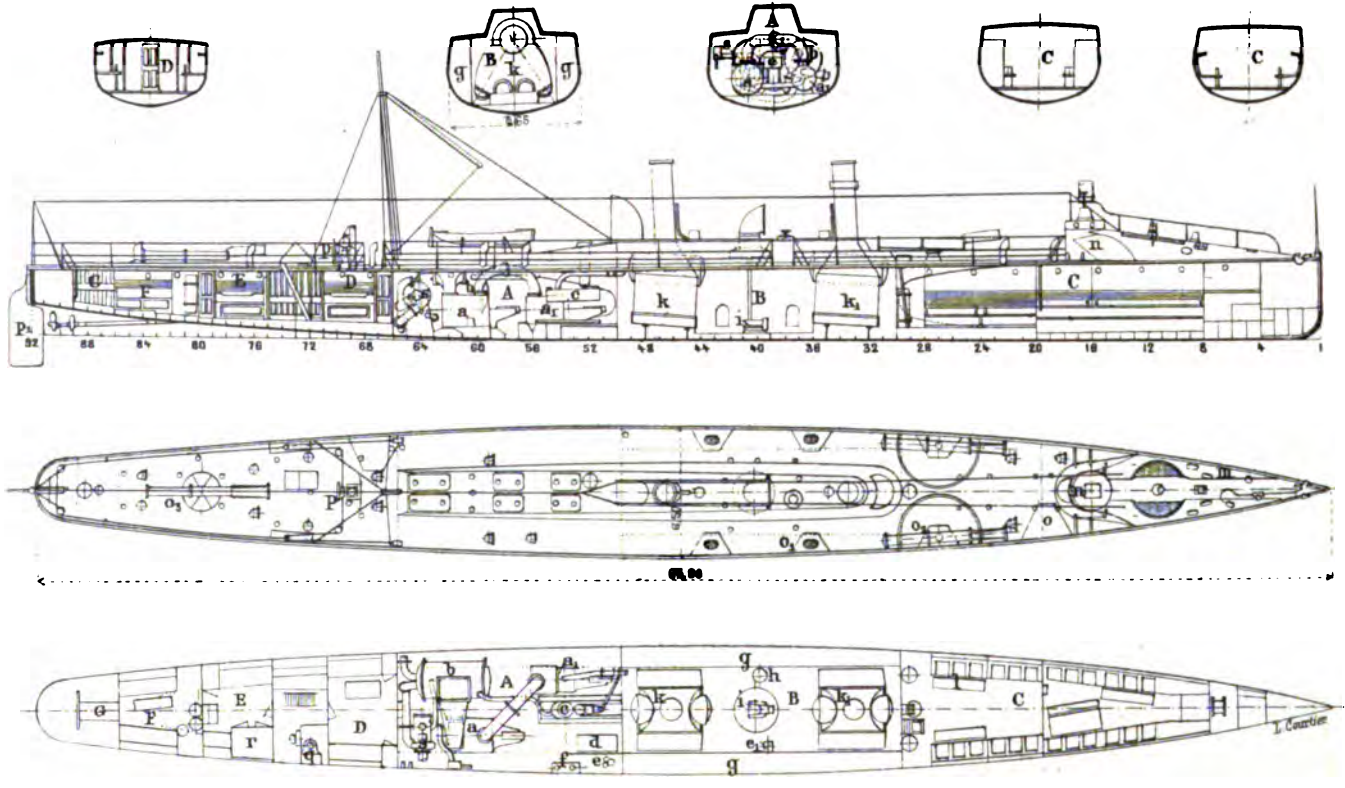


Fig. 12 _ Yacht - Torpilleur "Caroline" (Turbines Rateau)

Les données de ce torpilleur-yacht sont les suivantes :

Longueur	m	46,48
Largeur	m	4,58
Creux	m	2,65
Tirant d'eau	m	1,524
Déplacement	tx	140
Nombre d'ailes		3
— de propulseurs		5
Diamètre des propulseurs	m	0,800
Pas des propulseurs	m	0,760
Nombre de tours de la machine pr 27,69 nœuds.		516
— des turbines —		1 556

Ce petit navire a été soumis à plusieurs séries d'essais qui ont donné les résultats indiqués au tableau ci-après ;

	MACHINE seule	MACHINE ET TURBINES		
Vitesse moyenne nœuds.	11,98	18,71	21,92	26,97
Nombre de tours. Machine alternative.	369	411	475	516
— Turbine bâbord H. P.	393	955	1 172	1 455
— — tribord B. P.	395	994	1 357	1 657
Pression à l'entrée de la turbine H. P. kg	»	3,5	7	10
Vide cm	68,07	71,1	69,08	68,3
Recul du propulseur. Machine alternative. 0/0	39,5	21	14	9,7
— Turbine bâbord H. P. 0/0	»	20,6	24,5	30,5
— — tribord B. P. 0/0	»	24	35	39

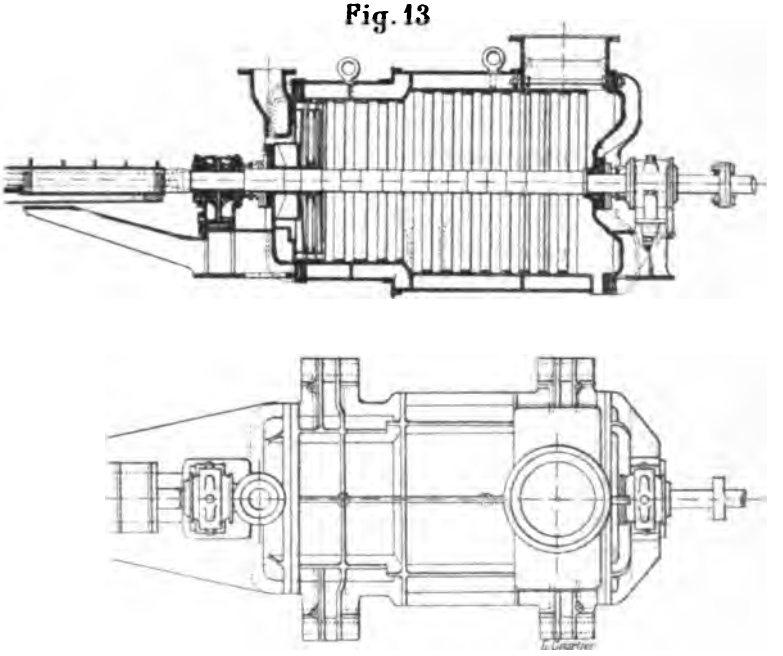
On voit qu'aux grandes vitesses les reculs des hélices mues par turbines sont très considérables et que, de plus, les deux turbines montées sur les arbres latéraux ne tournaient pas synchroniquement. C'est là un inconvénient commun à toutes les dispositions, quel que soit le système de turbines, qui n'admettent pas aux turbines symétriques de la vapeur de même pression *(fig. 13)*.

L'exagération des reculs semble montrer que les phénomènes de cavitation commençaient à se manifester, et le non-synchronisme, que l'arrivée de la vapeur n'était peut-être pas assez grande pour la turbine tribord, ou que la turbine bâbord recevait trop de vapeur. A la suite de ces essais, on changea les hélices, ce qui améliora les résultats ainsi qu'on peut le voir ci-après :

	MACHINE seule	MACHINE ET TURBINES		
Vitesse. . . . . nœuds.	17,79	21,39	24,94	26,39
Pression à l'entrée de la turbine H. P. . kg	3,5	7	10,5	11,8
Nombre de tours. Machine alternative. . . .	450	508	555	576
— Turbine H. P.	836	1 052	1 207	1 258
— Turbine B. P	836	1 065	1 232	1 307
Recul de l'hélice de la machine alternative. 0/0	28,7	22,4	17	15.3
— turbine H. P. . . . 0/0	13,6	17,4	16,4	14,8
— turbine B. P. . . . 0/0	24	28,2	27,8	27,8

Les reculs ont été, comme on le voit, très sensiblement atténués par le changement des hélices, mais ils sont encore bien

Fig. 13



inégaux. Il y a très probablement une déperdition de force à grande vitesse pour la turbine B. P. due aux conditions de fonctionnement des propulseurs par rapport à la carène.

La différence toujours sensible de recul entre l'arbre central (machine alternative) et les arbres latéraux tient à ce que le premier ne porte qu'un propulseur alors que les autres en portent deux qui doivent médiocrement travailler et aussi au nombre

de tours beaucoup moins considérable. On ne possède pas de renseignements sur la consommation de vapeur ou de combustible.

Torpilleur n° « 294 ».

Ce torpilleur a reçu des turbines Bréguet à disques de Laval. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Longueur	m	38,50
Largeur	m	3,95
Tirant d'eau avant	m	1,084
— milieu	m	1,240
— arrière	m	1,396
Surface immergée du maître couple	m²	3,617
Déplacement	tx	97,479

Son appareil évaporatoire se compose de deux chaudières Dutemple à tubes d'eau de 5,40 m² de surface totale de grille.

Les trois turbines motrices sont disposées, la turbine H. P. à tribord, la turbine M. P. à bâbord et la turbine B. P. au milieu. Cette disposition, nécessitée par le volume de la turbine B. P., présente l'inconvénient déjà signalé pour les autres systèmes de faciliter le non-synchronisme de rotation; toutefois les différences ont été faibles.

Il n'y a qu'une turbine de marche arrière disposée dans l'enveloppe de la turbine B. P., c'est-à-dire sur l'arbre central.

Le nombre de tours des turbines commandant chacune deux propulseurs en tandem sur l'arbre est assez élevé, mais les reculs sont analogues à ceux observés sur les autres torpilleurs à turbines et même à machines alternatives.

Les essais exécutés ont donné les résultats suivants :

Vitesse nœuds	14,163	20,862	25,142
Nombre de tours, turbine H. P. (tribord)	882,3	1 358	1 645,1
— — M. P. (bâbord)	890,7	1 367	1 724
— — B. P. (milieu)	839,7	1 300	1 770
— moyen	870,9	1 342	1 713
Avance par tour m	0,502	0,479	0,453
Recul apparent 0/0	15,6	19,5	23,9
Pression à l'entrée de la turbine H. P. kg	3,006	9,967	14,920
Vide cm	70,6	65,7	63
Puissance ch	301	1 246	2 360
Vitesse de marche arrière nœuds	10	10	10

Dans ces essais, le non-synchronisme de la rotation des hélices a dû causer des remous entraînant une perte de travail. Le nombre élevé de tours, d'autre part, a dû faire apparaître quelques-uns des phénomènes qui précèdent la cavitation, bien que les reculs ne soient pas exagérés. Enfin le vide, dans les essais à grande vitesse, était insuffisant. Toutes ces circonstances expliquent pourquoi la puissance fut si élevée, d'une part, et pourquoi, d'autre part, la consommation de combustible fut très forte.

L'assiette du bâtiment a été aussi pour quelque chose dans la grandeur de la puissance nécessaire, car, contrairement à ce qui se passe généralement sur les torpilleurs, le n° 294 ne s'est pas déjaugé, même à la vitesse de 25 nœuds, de sorte qu'il y avait de ce fait un supplément de résistance très appréciable ; il semble donc que les turbines et l'appareil évaporatoire étaient trop à l'avant, mais leur emplacement était probablement nécessité par les formes d'arrière.

Chacun des arbres de ce torpilleur portait deux hélices en tandem suivant la disposition primitivement adoptée par Parsons qui, sur la *Turbinia*, avait été jusqu'à trois. C'est là une disposition condamnée aujourd'hui par l'expérience et qui a dû encore entraîner des pertes de rendement. M. Delaporte indique 48 0/0 pour le rendement des hélices dans ces conditions; c'est un chiffre assez faible qui pourrait certainement être amélioré par un changement d'hélices, mais le nombre élevé de tours des turbines exigera toujours des hélices de petit diamètre en tandem dont le rendement est forcément médiocre, d'autant plus que l'inclinaison des arbres nécessitée par la disposition des turbines vient faire travailler ces propulseurs dans des conditions défectueuses.

Dernièrement on a signalé que ce torpilleur avait abordé au cours d'une manœuvre un de ses similaires, mais les circonstances de l'accident n'étant pas exactement connues, il serait absolument injuste d'en faire retomber la responsabilité sur les turbines Bréguet. Ce le serait d'autant plus que d'autres torpilleurs, mus par machines alternatives, ont également donné lieu à des accidents répétés de ce genre.

Il y a donc lieu d'attendre de nouvelles applications de la turbine Bréguet à disques de Laval, à la propulsion des navires, avant de se prononcer, mais, comme pour la turbine Parsons, les perfectionnements seront probablement longs et coûteux à réaliser.

Le troisième système employé encore pour la propulsion des navires est le système Curtis avec roues multiples dans une même chambre.

Yacht « Révolution ».

Ce système avait été essayé en Amérique, il y a trois ou quatre ans, sur le yacht *Révolution*, sans qu'on connaisse bien les résultats obtenus.

Les caractéristiques de ce yacht étaient les suivantes :

Longueur	m	42,67
Largeur	m	5,18
Tirant d'eau	m	2,13
Pression aux chaudières	kg	17,57
Puissance	ch	1 800
Nombre d'arbres		2
— de propulseurs		2
— de tours		650
Diamètre des propulseurs	m	1,371
Vitesse	nœuds	18

Comme on le voit, les turbines employées étaient à faible vitesse de rotation, ce qui permettait un diamètre de propulseurs assez considérable. Les résultats de cet essai eussent donc été intéressants à connaître. Ils ont dû être encourageants puisque le Gouvernement des États-Unis a en construction un croiseur éclaireur de 3 200 tx qui sera muni de turbines Curtis, le *Salem*.

Croiseur éclaireur « Salem ».

Ses caractéristiques sont les suivantes :

Longueur	m	128
Largeur	m	14,22
Tirant d'eau	m	5,104
Déplacement	tx	3 250
Pression aux chaudières	kg	17,57
Puissance	ch	16 000
Nombre d'arbres		4
— de propulseurs		4
— de tours		500
Diamètre des propulseurs	m	1,980
Vitesse prévue	nœuds	24

Cet essai sera d'autant plus intéressant que la seule application des turbines Curtis, à part le yacht *Révolution*, n'est pas encore bien exactement connue. C'est celle réalisée sur le petit paquebot de 1 972 tx, le *Kaiser*, appartenant la ligne Hambourgeoise-Américaine.

Voici les chiffres qu'on a sur cette application, mais leurs divergences mêmes les rendent douteux :

Longueur	m	96
Largeur	m	11,65
Tirant d'eau	m	3,03
Volume de carène	m^3	1 923
Déplacement	tx	1 972
Nombre de chaudières		4
Type des chaudières		à tubes d'eau.
Pression aux chaudières	kg	4 (?)
Nombre de tours		600
Vitesse	nœuds	20,46
Puissance	ch	3 000 (?)

Il semble évident qu'il doit y avoir erreur sur la pression aux chaudières et sur la puissance développée, car le navire aurait alors un coefficient d'utilisation tout à fait exceptionnel.

Il n'y a que deux turbines H. P. et B. P. commandant chacune un arbre portant un propulseur. Le poids des turbines ne serait que de 57 t chacune.

Chaque turbine comprend cinq roues à aubes placées dans une même chambre, de sorte que leur disposition se rapproche beaucoup de la disposition usitée dans la turbine Rateau.

En présence des divergences constatées, il convient donc de réserver son opinion jusqu'à ce qu'on connaisse mieux les résultats des essais.

Avec cette application, se clôt aujourd'hui la liste des navires ayant reçu comme moteurs des turbines quel qu'en soit le système, mais, ainsi qu'il a été dit plus haut, un certain nombre de torpilleurs sont en construction, et les études d'un cuirassé à turbines et à grande vitesse sont en cours dans la marine anglaise. D'autre part l'entrée en ligne, dans un certain temps, des grands paquebots à turbines construits par la Compagnie Cunard viendra apporter de nouveaux éléments d'appréciation sur l'application des turbines à la propulsion des navires de grand déplacement, et il ne semble pas douteux que dans quelques années leur développement ne soit très considérable.

CONCLUSIONS

Il nous reste maintenant à essayer de tirer de l'étude que nous venons de faire des conclusions sommaires sur l'application à la propulsion des navires des divers systèmes de turbines et des enseignements pratiques au sujet de leur installation.

Malheureusement, le petit nombre d'applications des turbines autres que celles de Parsons rend difficiles des conclusions fermes, d'autant plus que les applications des autres systèmes de turbines ne se rapportent qu'à des puissances relativement faibles.

Dans ce qui va suivre, nous nous plaçons donc uniquement à ce point de vue pratique, qu'à bord, les dispositions les plus simples et qui ont reçu la sanction d'un assez long emploi sont les meilleures. On peut, en effet, compter sur elles aux moments critiques qui se présentent toujours à la mer. Des dispositions plus perfectionnées, plus avantageuses théoriquement, et qui auront aux essais donné des résultats satisfaisants, ne présenteront pas à bord ce caractère de sécurité sur lequel il faut absolument pouvoir compter et seront, au contraire, une source d'ennuis et même de dangers.

Nous envisagerons les conclusions à tirer de ce travail aux quatre points de vue suivants :

1° Choix du type de turbine marine;
2° Vitesse de rotation, sa relation avec les propulseurs;
3° Disposition des turbines;
4° Disposition des propulseurs;
5° Perfectionnements possibles et perfectionnements désirables.

Choix du type de turbine.

Le choix du type de turbine n'est pas sans soulever de nombreuses difficultés, en présence du peu de résultats connus pour certains des systèmes essayés et aussi de la difficulté d'étudier une turbine pouvant commander des propulseurs de rendement satisfaisant.

Cependant, en nous inspirant du principe énoncé plus haut, nous croyons, sans engager l'avenir, qu'aujourd'hui c'est le système Parsons qui seul présente des garanties suffisantes pour être employé en service régulier.

Les multiples perfectionnements qu'il a reçus, les applications de plus en plus nombreuses et importantes dont il a fait l'objet, la régularité de son fonctionnement en service dont nous avons été témoin, la facilité de son entretien, le coût relativement faible de ses réparations, lui donnent une sanction que n'ont pas encore reçue les autres systèmes.

C'est, à notre avis, cette turbine qui doit, jusqu'à nouvel ordre être préférée pour la propulsion des navires, car c'est la seule qui jusqu'à présent ait présenté le caractère de sécurité indispensable à la mer. Non pas que les avaries ne puissent se produire, mais elles ont été excessivement rares et, bien que se produisant le plus souvent dans des circonstances difficiles, n'ont jamais eu de conséquences graves pour les navires.

Ce point de vue, tout pratique, est d'ailleurs confirmé par d'autres considérations qui, tout en touchant à la théorie, ne s'y relient qu'indirectement et pour ainsi dire accessoirement. Elles visent des phénomènes parasites accompagnant l'écoulement de la vapeur, qui ne peuvent se chiffrer mathématiquement, mais qu'on peut constater et qui sont facilement compréhensibles.

Dans les turbines à vapeur, on peut dire *grosso modo*, que la vitesse de rotation d'une roue est environ la moitié de celle d'écoulement de la vapeur qui la traverse. Ce n'est pas tout à fait exact, car, par des artifices de construction, on peut arriver, sans abaisser sensiblement le rendement, à réduire la vitesse de rotation au-dessous de ce taux.

C'est ainsi que Parsons a réussi, dans certaines turbines, économiques d'ailleurs, à abaisser la vitesse de rotation à peu près au tiers de la vitesse d'écoulement.

Celle-ci reste d'ailleurs très élevée encore, de sorte que pendant le passage de la vapeur au travers des roues à aubes successives, il se produit une série de remous et tourbillons, surtout à l'entrée et à la sortie des aubes, qui ont pour conséquence des pertes d'énergie très sensibles.

Ces pertes dépendent évidemment, dans une certaine mesure, de la vitesse de rotation des roues, et plus celle-ci est basse, moindres sont les chances de tourbillons.

D'autre part, il a été constaté que les veines fluides convergentes sont beaucoup plus homogènes et stables que les veines à section constante ou divergente. Celles-ci se troublent beaucoup plus facilement que les premières sous l'influence des variations brusques de section, ainsi qu'il s'en produit forcé-

ment entre deux aubages consécutifs par suite des jeux indispensables. Il se produit alors une détente brusque de la veine, une sorte d'éclatement qui l'oblige, après une brusque augmentation de volume, à se laminer en quelque sorte pour pénétrer dans l'aubage suivant.

Cet effet est notablement plus réduit pour les veines convergentes qui, grâce à leur homogénéité plus grande, franchissent avec une dilatation sensiblement moindre le jeu qui sépare les aubages, et qui trouvent en face d'elles une section au moins égale à celle qui correspond à la section de sortie entre deux aubes dans la couronne-guide fixe.

On pourra objecter que les jeux des turbines à réaction, les seules qui emploient des passages convergents, doivent être plus grands que pour les turbines à action. Cela a pu être exact autrefois, mais actuellement les jeux pratiques ne sont pas, par suite de la perfection dans la construction, plus considérables pour un système de turbines que pour l'autre.

L'admission totale sur toute la périphérie de l'aubage vient encore réduire dans la turbine à réaction les chances de remous et tourbillons.

Avec l'admission partielle, souvent utilisée dans les turbines à action, il se produit forcément, lorsque la vapeur, douée d'une grande vitesse d'écoulement, sortant d'une roue, vient frapper le distributeur suivant, qui n'admet que sur certains secteurs de sa périphérie, une série de chocs entre la vapeur vive et la vapeur stagnante qui reste dans les aubes de la roue mobile, qui doit prendre presque instantanément la vitesse de la vapeur vive. De là des troubles assez profonds dans la veine et des pertes d'énergie nouvelles.

D'autre part, si l'admission partielle a l'avantage de proportionner le volume de la vapeur admise au travail à effectuer, elle peut avantageusement, à notre avis, être remplacée par un système de valve d'admission permettant d'agir non sur le volume de la vapeur admise, mais sur sa pression. La constance du volume atténue beaucoup l'importance des phénomènes parasites de l'écoulement, qui varient, au contraire, beaucoup avec les variations mêmes du volume.

Enfin, la turbine à réaction qui à terre, présente l'inconvénient de donner une poussée axiale qu'il faut combattre par l'emploi de pistons d'équilibre, voit à la mer cet inconvénient se changer en avantage, en permettant la suppression du palier de butée si

encombrant et qui demande tant de soins quand la puissance transmise est un peu considérable.

La poussée axiale sur l'arbre de la turbine est en effet presque entièrement équilibrée par celle du propulseur qui est de sens contraire, de sorte que les coussinets de réglage de la turbine n'ont à supporter et à équilibrer qu'un effort très faible.

Toutes ces considérations, sans faire entrer en ligne de compte la construction plus simple, nous font donc préférer lá turbine à réaction avec admission totale pour la propulsion des navires.

Quant au système comportant plusieurs roues à aubes tournant dans la même chambre, nous ne croyons pas que les résultats en soient jamais très bons.

Il doit y avoir, avec ce système, une perte de rendement très sensible par suite du mode d'action de la vapeur sur les roues successives.

La constance des sections de passage entre deux aubes, pour les roues fonctionnant dans une même chambre doit être une cause de tourbillons et de remous.

Seul le premier distributeur est à sections convergentes, mais comme il est à admission partielle, il doit déjà de ce fait, se produire des tourbillons, qui sont ensuite aggravés de roue en roue jusqu'à la dernière, au lieu d'être successivement atténués.

C'est probablement pour éviter ces effets que le nombre des roues fonctionnant dans une même chambre, qui primitivement avait atteint le chiffre de cinq, a été abaissé et est le plus souvent de deux ou trois au maximum.

Cet abaissement successif du nombre de roues fonctionnant dans une même chambre tend de plus en plus à ramener la turbine Curtis à la turbine multicellulaire Rateau.

Vitesse de rotation. Sa relation avec les propulseurs.

Si nous nous plaçons au point de vue des propulseurs, l'abaissement du nombre de tours réalisé aujourd'hui avec les turbines à réaction est très avantageux pour le tracé d'hélices dont la courbe de rendement correspond à celle de la turbine pour un nombre à peu près égal de nombres de tours.

Actuellement, on est arrivé à tracer des propulseurs qui, avec des surfaces de disque beaucoup plus faibles que celles des

propulseurs mus par machines alternatives, ont une utilisation égale, sinon supérieure.

C'est ainsi que les propulseurs du *Londonderry*, qui ne donnent qu'une surface de disque de 5,43 m², se sont montrés aussi bons que ceux de l'*Antrim*, dont la surface de disque était de 17,64 m². Bien que la surface de disque des premiers ne soit que 0,30 de celle des seconds, les propulseurs du *Londonderry* ont eu une utilisation normale, puisque à 20 nœuds le recul n'était que de 20 0/0 environ.

Ce n'est qu'au-dessus de cette vitesse que le recul a augmenté, par suite de l'accroissement de la vitesse périphérique, qui s'est rapprochée de la vitesse-limite où commence à apparaître la cavitation.

Du reste, si on compare les 28 0/0 de recul que présentaient les propulseurs de petit diamètre du *Viper*, aux 14 0/0 donnés par les propulseurs à allure relativement lente du *Viking*, on se rend immédiatement compte des progrès réalisés à cet égard.

Il faut noter que la turbine à réaction est la seule, qui jusqu'ici ait abaissé le nombre de tours des propulseurs sans réduction exagérée du rendement de la turbine elle-même.

A ce point de vue encore, son emploi présente donc des avantages très marqués.

Disposition des turbines.

La disposition paraissant la plus rationnelle pour l'installation des turbines à bord est celle qui répartit symétriquement les appareils de chaque bord. Les propulseurs sont ainsi disposés symétriquement et, par suite, fonctionnent dans des conditions tout à fait analogues, si la vapeur est admise dans les turbines qui les commandent à la même pression ou à des pressions peu différentes.

Cependant, il ne faudrait pas exagérer les inconvénients dûs au non-synchronisme du nombre de tours; mais la disposition symétrique est en même temps la plus commode pour l'installation des turbines.

Dans les installations à trois turbines, il est tout à fait rationnel de mettre la turbine HP dans l'axe du navire et les deux turbines BP symétriques de chaque bord. Avec cette disposition la puissance est toujours équilibrée à tribord et à bâbord.

S'il faut quatre arbres, la disposition la plus naturelle est de

prendre deux groupes symétriques en plaçant les turbines BP les plus près de l'axe du navire en raison de leur masse.

La question est plus complexe pour les navires de guerre en raison de la présence de turbines de croisière, et il est quelquefois difficile d'équilibrer la puissance développée sur les divers arbres.

D'ailleurs, les turbines de croisière n'ont donné jusqu'ici que des résultats médiocres, et on peut espérer que dans un temps relativement court, elles cesseront d'être employées, par suite des modifications apportées aux turbines principales et qui les rendront économiques à des vitesses plus faibles qu'actuellement.

Un point important dans l'installation des turbines est la disposition des turbines de marche arrière.

Généralement on n'installe de turbines de ce genre que sur les turbines B. P., mais on use de la facilité de les disposer dans la même enveloppe.

Ce mode de procéder a l'inconvénient de réduire, pour la marche arrière, la surface propulsive aux deux tiers ou à la moitié de celle correspondant à la marche avant.

Cette réduction de la surface prppulsive pour la marche arrière ne peut, d'autre part, être compensée par une augmentation de la puissance des turbines correspondantes, car on tomberait alors, pour les propulseurs tournant plus vite, dans les phénomènes de cavitation.

Il semblerait donc nécessaire, tout au moins pour les navires qui ont à manœuvrer fréquemment, d'installer également des turbines de marche arrière sur les turbines H. P. de marche avant.

Jusqu'ici on a reculé devant cette complication, la turbine de marche arrière devant alors être complètement séparée de la turbine de marche avant ; elle paraît cependant indispensable pour les navires à manœuvres fréquentes sinon pour ceux qui font de longs voyages.

On pourrait disposer, bien que l'économie de vapeur pendant la marche avant n'ait pas d'importance, les turbines de marche arrière en série comme celles de la marche avant.

Les deux marches seraient alors exactement dans les mêmes conditions au point de vue de la surface propulsive, ce qui donnerait toute sécurité pour la rapidité des manœuvres.

Dispositions des propulseurs.

L'expérience a montré que les propulseurs en tandem, même lorsqu'ils sont séparés par une distance supérieure à trois fois leur diamètre réagissent toujours les uns sur les autres.

Le premier seul fonctionne dans de l'eau non troublée, c'est-à-dire dans de bonnes conditions.

Aussi dans toutes les dernières installations, est-on revenu au propulseur unique par arbre.

Cette solution, très avantageuse au point de vue de l'utilisation des propulseurs, n'a été rendue possible que par l'abaissement du nombre de tours et c'est d'elle, pour la plus grande partie, que vient le relèvement constaté dans le rendement des dernières installations.

La forme et les proportions des propulseurs n'y sont pas non plus étrangères.

Les propulseurs employés sur la plupart des installations étudiées au cours de ce travail ont des ailes de forme elliptique en projection avec un petit axe placé à peu près à mi-hauteur et presque égal au grand axe.

La génératrice de l'hélice est le plus souvent rectiligne et fait un angle très voisin de 90 degrés par rapport à l'axe du propulseur.

Le rapport de la surface projetée des ailes à celle de la section du cylindre d'eau actionné, qui, dans les hélices mues par machines alternatives varie de 0,25 à 0,33 atteint dans les hélices mues par turbines 0,52 à 0,55.

Il a même été de 0,60 dans certaines installations, mais il se produit alors des effets d'interférence des ailes nuisibles au rendement.

Le rapport de 0,50 à 0,55 donne au contraire des résultats satisfaisants.

Quant au rapport du pas au diamètre, il est, pour les propulseurs commandés par turbines, plus petit que pour ceux commandés par machines alternatives, en raison du nombre de tours plus considérable.

Au lieu de 1,10 à 1,25 et 1,30 qu'on observe pour les hélices mues par machines alternatives, il varie de 0,8 à 1,00 pour les navires de 20 à 23 nœuds, et même dans certains cas il est descendu au-dessous de 0,8.

Par contre, pour les navires très rapides et de petites dimensions, comme les torpilleurs, il atteint jusqu'à 1,33 pour des vitesse de 34 à 36 nœuds, il est vrai.

Au point de vue de la disposition des propulseurs l'un par rapport à l'autre, il y a intérêt à ce que les cylindres d'eau actionnés ne se recoupent pas, pour ne pas créer de remous.

Il est en outre avantageux que les propulseurs ne soient pas dans le même plan transversal.

Généralement les propulseurs latéraux sont en avant de ceux placés sur l'axe ou les plus près de l'axe de plusieurs fois leur diamètre.

Cette disposition se prête bien, d'ailleurs, à la protection des propulseurs et leur donne un écartement convenable de la carène, écartement qui a une influence sensible sur leur rendement et aussi sur les trépidations qu'ils occasionnent.

Enfin il est bon de faire les moyeux assez effilés sur l'arrière des ailes, pour ne pas créer de remous en cet endroit, mais au contraire ramener progressivement les filets d'eau doués de mouvements de rotation à un mouvement parallèle de fuite sur l'arrière.

Perfectionnements désirables ou possibles.

Actuellement, le fonctionnement mécanique des turbines à vapeur est, grâce aux perfectionnements réalisés, très satisfaisant. L'économie de consommation de vapeur par cheval est notable à partir de 15 ou 16 nœuds et croît avec la vitesse, mais pour des vitesses inférieures, il n'en est plus de même et l'avantage reste encore pour le moment aux machines alternatives.

C'est donc du côté de la marche économique à petite vitesse que doit se porter l'attention et doivent se diriger les études, car lorsque le problème sera résolu, le développement des turturbines sera très rapide en raison de la possibilité de leur installation à bord des navires si nombreux à faible vitesse.

Ce perfectionnement paraît difficile avec le mode actuel du tracé des aubes qui, ne recueillant chacune qu'une partie très faible du travail total, doivent être très nombreuses pour une puissance donnée.

Actuellement les aubes les plus petites, recevant la vapeur à haute pression, ont une hauteur d'environ 25 mm, une largeur

de 9 à 10 mm, et elles sont séparées, d'une roue fixe à une roue mobile par un pas de 4 à 5 mm. Dans les grandes installations de turbines marines, elles peuvent atteindre des dimensions considérables pour les turbines à basse pression, car elles ont alors dans les grandes turbines jusqu'à 0,750 m de hauteur, 30 à 35 mm de largeur et présentent entre deux aubages un jeu de 19 à 20 mm.

On voit donc que les jeux, nécessaires au bon fonctionnement, et qui contribuent, quoi qu'on fasse, à troubler assez profondément l'écoulement régulier de la vapeur, ont d'autant moins d'importance que les appareils sont de plus grandes dimensions.

A cet égard il y a donc intérêt à employer, comme on l'a constaté depuis longtemps, pour un travail donné, des turbines ayant les plus grandes dimensions acceptables avec les autres conditions de l'installation.

De plus, on arrive ainsi à réduire sensiblement le nombre de tours, tout en laissant aux aubes une vitesse périphérique convenable et, ayant un écoulement plus régulier de la vapeur, c'est-à-dire en somme une augmentation de rendement.

Malheureusement, dans ces conditions, le poids des appareils augmente énormement puisqu'il varie, *grosso modo*, d'une manière inversement proportionnelle au carré du nombre de tours.

Encore, dans certaines turbines comportant des roues à aubes séparées montées sur l'aube, au lieu d'aubages montés sur un cylindre, la progression est-elle encore plus rapide.

On se trouve donc limité dans la recherche du fonctionnement des turbines, d'une part par le poids et l'encombrement des turbines, de l'autre par les économies réalisables sur la consommation de vapeur, économies qui entraînent toujours une augmentation du nombre des roues à aubes.

Il faut donc forcément arriver à un compromis entre ces divers éléments, en avantageant celui qui a le plus d'importance pour le service en vue.

Néanmoins les variations possibles sont assez limitées pour qu'on ne puisse encore aujourd'hui descendre au-dessous d'une certaine vitesse de rotation sans avoir une chute de rendement inacceptable.

La vitesse de rotation est en effet toujours dans un certain rapport avec la vitesse d'écoulement de la vapeur, et on semble avoir fait dans cette voie tout ce qui était possible avec les méthodes actuelles de tracé des aubes.

Dans les turbines Parsons, la vitesse de rotation des roues, qui, dans les premières installations, atteignait 0,85 de la vitesse d'écoulement de la vapeur, a été progressivement réduite jusqu'à 0,25 de cette vitesse dans certaines installations, par des modifications judicieuses apportées à la construction des aubages.

Cette dernière proportion n'a d'ailleurs été atteinte que dans des installations très puissantes avec roues de grand diamètre. Dans les turbines actionnant des dynamos, ce rapport est généralement de 0,55 à 0,60, et pour les turbines marines de moyenne grandeur, il oscille entre 0,35 et 0,45 pour les paquebots et 0,45 à 0,55 pour les navires de guerre très rapides.

En fait, pour étudier l'aubage des turbines marines, il faut partir du diamètre moyen des roues à aubes qu'on se donne le plus grand possible, suivant les conditions d'installation, mais qui peut subir d'assez fortes variations sans affecter trop sensiblement le rendement économique de la turbine, et aussi de la vitesse de rotation compatible avec un bon tracé du propulseur.

Cette dernière varie avec le diamètre de la turbine : c'est ainsi que dans la plupart des installations citées, elle est de 17 à 18 m pour les turbines H. P. et de 34 à 35 m pour les turbines B. P. de diamètre plus considérable.

L'égalité de diamètre entre les turbines H. P. et B. P., employée dans quelques installations avait, en effet, l'inconvénient de conduire pour les turbines B. P., à des vitesses de rotation trop considérables.

Le progrès ne paraît guère, en somme, pouvoir être réalisé que par une modification de l'aubage permettant de réduire encore le rapport de la vitesse de rotation à la vitesse d'écoulement sans entraîner l'emploi d'un trop grand nombre de roues à aubes. On s'est heurté jusqu'ici à des difficultés, de construction résultant de la réduction de l'angle de sortie et aussi de la résistance plus grande des aubages à forme sinseuse.

On peut cependant espérer que, dans un temps relativement court, il sera possible de tracer des turbines à faible vitesse de rotation, mais le tracé de turbines pouvant, par des variations de pression initiale, convenir aux grandes et aux petites vitesses paraît encore éloigné en raison de l'importance des variations à obtenir.

Il ne faut point toutefois désespérer, en présence des études auxquelles on procède de tous côtés, et les progrès réalisés depuis quelques années peuvent faire entrevoir la possibilité

d'un tracé des aubes permettant de mettre de côté les turbines de croisière, qui n'ont jusqu'ici donné que des résultats médiocres tout en prenant une place considérable et en surchargeant les navires d'un poids relativement grand.

Les résultats donnés à cet égard par le *Londonderry* sont très intéressants, puisqu'à 14 nœuds il avait la même consommation que les paquebots à machines alternatives. Il est vrai que vers 20 nœuds il était sensiblement moins économique que le *Manxman*, dont les turbines sont plus volumineuses et plus lourdes, bien que moins pesantes encore que les machines alternatives.

CHRONIQUE

N° 313

Sommaire. — Utilisation des gaz des fours à coke pour la production de l'électricité. — La construction navale britannique en 1905. — La production de l'aluminium aux États-Unis. — Épuration des eaux potables à Alexandrie. — Les chaînes des nouveaux paquebots Cunard.

Utilisation des gaz des fours à coke pour la production de l'électricité. — Nous avons donné, dans la *Chronique* d'août 1905, page 284, une étude de M. F. du P. Thomson, sur la production de l'électricité au moyen des gaz des hauts fourneaux.

Nous croyons intéressant de donner ici le résumé d'une étude analogue sur l'utilisation, pour le même objet, des gaz des fours à coke; cette étude a fait l'objet d'une communication de M. G. I. Hooghwinkel à la Manchester Geological and Mining Society; le résumé est emprunté à l'*Iron and Coal Trades Review*.

L'auteur, après avoir signalé l'énorme perte d'énergie qui se produit journellement dans les industries métallurgiques, rappelle qu'un pas important dans la lutte contre cette perte est constitué par l'emploi des gaz des hauts fourneaux pour la production de l'électricité, application dès aujourd'hui réalisée pratiquement en Angleterre.

Bien que la voie ait d'abord été tracée par les expériences bien connues de M. Thwaite, on peut dire que les premières installations de ce genre ont été faites en Allemagne, et, actuellement, beaucoup d'usines sidérurgiques, dans ce pays et aussi aux États-Unis, sont pourvues d'installations pour obtenir l'éclairage électrique au moyen des gaz des hauts fourneaux, de même que les soufflerie de ces fourneaux sont mises en action par les mêmes gaz.

L'auteur a eu l'occasion de participer à l'étude et à l'exécution d'une des installations les plus considérables de ce genre, celle des forges d'Ilseder, lesquelles fournissent aussi la force aux laminoirs de Peine, près Hanovre; tous les appareils mécaniques de cette usine sont mis en mouvement par les gaz des hauts fourneaux. C'est un exemple remarquable de l'économie qu'on peut réaliser dans les industries métallurgiques.

On peut obtenir des résultats analogues de l'emploi des gaz des fours à coke, pour actionner les appareils mécaniques desservant ces fours, les appareils de lavage et de préparation des charbons, et même les machines d'extraction des mines. Le système actuel, consistant à brûler ces gaz sous des chaudières d'anciens modèles, est représenté encore dans le Royaume-Uni par une puissance d'environ 200 000 ch, et, si l'on considère que l'emploi direct des gaz dans des moteurs à combustion interne donnerait un effet utile triple, on voit quelle quantité de force perdue pourrait être retrouvée, et on pourrait doter le pays de ressources comme

puissance motrice à bon marché, analogues à celle qu'on obtient des chutes d'eau au Canada et ailleurs.

Un haut fourneau moderne, par l'emploi de la moitié à peu près des gaz produits, peut donner environ 25 ch par tonne de fonte. Les gaz de hauts fourneaux, il ne faut pas l'oublier, sont des gaz pauvres, du genre des gaz de gazogènes, tandis que les gaz de fours à coke sont des gaz riches, analogues au gaz de ville, et l'importance de la force qu'on peut obtenir de leur emploi est en rapport avec leur composition; on peut donc attendre de cette application, pour les houillères, une révolution analogue à celle que produit, pour les forges et aciéries, l'emploi des gaz de hauts fourneaux.

Les houillères qui font du coke emploient quelquefois les gaz des fours au chauffage des chaudières pour la commande des appareils de service et aussi pour celle de pompes, compresseurs d'air, etc. Quant aux machines d'extraction, à cause de leur consommation intermittente de vapeur, on préfère souvent les pourvoir de chaudières à chauffage direct, mais cette méthode est coûteuse. Les fours à coke modernes, à récupération des sous-produits, donnent environ 78 0/0 de coke, pour des fours de 4 t de capacité. Avec des chaudières à tubes d'eau, on peut obtenir 1,25 kg de vapeur par kilogramme de charbon chargé dans les fours à récupération. Il faut trente à quarante heures entre chaque chargement, et comme on produit environ 5 000 kg de vapeur, on obtient 10 ch par four. Si l'on brûlait directement les gaz dans un moteur à combustion intérieure, consommant environ 700 l par cheval-heure, on aurait 20 ch sur l'arbre du moteur par four, soit le double du chiffre précédent. Ceci suppose que le charbon considéré donne 420 m³ de gaz par tonne, et qu'on peut utiliser le quart de ce volume. On voit quelle économie considérable on peut obtenir en combustible (lequel est actuellement brûlé sous les chaudières) dans les houillères, par l'utilisation des gaz perdus avec des moteurs à explosion, même par rapport aux installations avec machines à vapeur les plus perfectionnées.

Il y a des houillères, sur le Continent et aux États-Unis, où l'on ne se sert de charbon pour aucun travail dans la mine ou en dehors de celles-ci, y compris la fabrication du coke. On réalise ainsi une économie de 3 à 5 0/0 de la production, chiffre qui fait voir combien était peu fondé l'adage en cours il y a peu de temps encore, que les déchets de combustible n'avaient pas de valeur sur le carreau de la mine.

Il est certain que tous les combustibles ne sont pas propres à faire du coke, et ne donnent pas tous la même quantité de gaz; ainsi, les charbons du Pays de Galles exigent une haute température de cuisson, et donnent juste assez de gaz pour chauffer les parois des fours, sans rien de plus; mais, par le chauffage des carneaux, ou par l'emploi de fours à récupération, on peut économiser environ 20 0/0 des gaz.

Avec de bonnes houilles à coke, comme celles de Durham et de Silkstone, dont la proportion de matières volatiles va de 20 à 30 0/0, on peut utiliser de 20 à 40 0/0 du volume total des gaz pour les moteurs à gaz. Les charbons contenant beaucoup de gaz, comme ceux de Durham, demandent une température beaucoup plus élevée pour produire du coke compact, et, par suite, ne laissent pas autant de gaz disponible que des

houilles en contenant une proportion moindre. Un autre fait important, qui influe sur la quantité de gaz utilisable, est la proportion d'eau contenue dans le charbon, et provenant surtout du lavage; proportion qui s'élève parfois jusqu'à 15 0/0; la vaporisation de cette eau emploie beaucoup de gaz.

Il est toutefois possible, et même quelquefois désirable, de disposer les fours de manière à faire passer les gaz, préalablement nettoyés et séparés des sous-produits, après leur avoir fait chauffer les carneaux et les régénérateurs, sous les chaudières, où ils se brûlent, tandis que la partie réservée, après un nettoyage spécial, est envoyée aux moteurs à gaz; il y a ainsi une combinaison des deux systèmes.

Il y a un autre genre d'utilisation, qu'on rencontre aux États-Unis, et qui consiste à employer les gaz disponibles des fours à coke à l'éclairage des villes du voisinage, mais c'est un cas assez exceptionnel, et le champ le plus sérieux d'utilisation de ces gaz est, sans aucun doute, dans la mise en mouvement des moteurs à explosions. L'auteur a constaté, dans bien des cas, que le coût du cheval-heure ainsi obtenu ne dépassait pas 0,01 à 0,02 f.

La question de la force à bon marché, dans les houillères, prend de jour en jour plus d'importance; si l'on n'a pas de poussier ou de résidus de laveries, on est obligé de brûler du combustible qui a une certaine valeur, et qui, avec le faible rendement des chaudières et des machines à vapeur, finit par représenter une dépense notable.

Une houillère bien organisée devrait, aujourd'hui, brûler ses déchets dans des gazogènes, ou les agglomérer et en faire du coke, en recueillant les sous-produits et en employant les gaz à la production de l'électricité avec des moteurs à explosion.

L'auteur estime qu'une batterie de 80 fours à coke, installés avec les perfectionnements en usage aujourd'hui, et cuisant 7 t chacun en 32 heures, avec du charbon ayant une proportion moyenne de matières volatiles, donnant environ 200 m³ de gaz par tonne, soit en tout 3 400 m³ par heure, donnera les résultats suivants : si les fours absorbent 70 0/0 des gaz pour le chauffage des carneaux, il restera 1 000 m³ en nombre rond utilisables pour la production de la force motrice, soit, à raison de 700 l par cheval indiqué et par heure, de quoi développer 1 500 ch indiqués; c'est donc 18,75, ou très près de 20 ch par four. Ces chiffres varieront naturellement dans une certaine mesure avec la nature du charbon et avec les systèmes de fours.

L'auteur discute les divers types de moteurs à gaz; le meilleur, pour l'utilisation des gaz dont il s'occupe, est le type à quatre temps. Le moteur doit comporter une plaque de fondation en acier coulé, ayant toute la longueur du moteur, et portant les guides de la tête du piston et les paliers de l'arbre; elle forme également cuvette pour l'huile qui tombe de la grosse tête de la bielle motrice; on choisira le sens de la rotation de manière qu'une seule glissière suffise pour la tête du piston; les cylindres seront en fonte de fer, avec enveloppe à circulation d'eau autour et sur les fonds.

Les boites à clapets seront rapportées sur les cylindres; elles seront à circulation d'eau.

Les pistons seront disposés de même, avec des tiges creuses servant à l'arrivée et à la sortie de l'eau; ils seront peu épais et garnis d'anneaux en fonte; les traverses de tête de piston seront en acier au nickel, frottant sur les garnitures en métal blanc des glissières. L'arbre coudé sera fait en acier sur sole, et tournera dans des coussinets garnis de métal blanc; les parties frottantes seront lubrifiées par de l'huile envoyée sous pression par une petite pompe.

Les soupapes d'admission seront actionnées par un levier agissant sur un galet; ce levier sera mû par un excentrique calé sur un arbre de distribution, lequel commande également le régulateur qui contrôle la course de la soupape.

L'air et le gaz sont mélangés dans une soupape double, et le mélange arrive au cylindre par la soupape d'admission. La soupape d'échappement, qui est appuyée sur son siège par la pression intérieure, est à enveloppe d'eau, de même que la boîte qui la contient. L'eau de refroidissement est refoulée par une pompe, qui la fait circuler dans les diverses enveloppes, d'où elle sort pour passer à une tour de refroidissement ou appareil analogue, de manière qu'elle puisse servir indéfiniment, sauf à réparer les pertes inévitables. On peut estimer la quantité d'eau nécessaire à 300 l par cheval-heure à la température de 15° C.; si l'on se sert de tours de refroidissement, la quantité d'eau nécessaire pour réparer les pertes est d'environ 2 l par cheval-heure.

L'auteur explique qu'il a surtout eu en vue les moteurs à gaz continentaux, avec lesquels il a eu affaire, et parce que la construction des moteurs utilisant les gaz des fours à coke a commencé sur le Continent et qu'il ne semble pas qu'on ait encore, en Angleterre, l'expérience de l'établissement de ces moteurs, lequel présente des difficultés spéciales. On devra tenir grand compte de la pratique des constructeurs continentaux dans cette branche, et il serait à craindre qu'un échec vint agir comme frein pour arrêter le développement de cette industrie.

Nous devons ajouter que, dans la discussion qui a suivi cette communication, on a paru craindre que cette utilisation, qui peut avoir des chances de succès dans certains districts du Royaume-Uni, ne soit pas d'une application bien étendue, parce que, dans beaucoup d'endroits, des matières, qu'on peut considérer ailleurs comme des déchets sans valeur, trouvent de nombreux emplois.

La construction navale britannique en 1905. — L'activité de la construction navale dans la Royaume-Uni a dépassé, en 1905, tous les chiffres constatés jusqu'ici. La production s'est élevée à 1 806 000 tonneaux dont 1 073 309 pour les chantiers anglais, environ 600 000 pour les chantiers écossais, et le reste, soit 133 000, pour l'Irlande. Le nombre des navires mis à l'eau a été de 1 236. Les chiffres qui se rapprochent le plus de ce formidable total sont ceux de 1 802 200 tx presque identique à celui de 1805, relevé en 1901 et 1 677 000 pour 1900. On trouve, comme d'habitude, la Clyde en tête de la production, dans laquelle elle figure pour le chiffre important de 540 000 tx, les 30 0/0 du total, suivie d'assez loin par la Tyne, avec 338 000 tx, la Wear, avec 321 000, les chantiers de la Tees et d'Hartlepool avec 255 000 tx.

Le tableau suivant donne les productions des chantiers des diverses régions en 1904 et 1905.

	1904	1905
Chantiers de la Clyde	417 870	539 850
— du Forth	11 219	12 918
— de la Dee	8 731	9 753
— de la Tay	10 415	25 411
— de la Tyne.	258 229	336 645
— de la Wear	228 972	321 287
— Tees et Hartlepool	210 470	255 150
— de la Côte Nord-Ouest .	35 370	51 372
Arsenaux de la marine royale. . .	57 100	46 250
Chantiers de l'Humber.	24 616	35 960
— de la Tamise.	25 391	15 484
— de la Manche	6 888	7 690
— du Canal de Bristol. . .	2 652	1 471
— irlandais.	78 244	144 727
TOTAUX.	1 376 130	1 805 968

Ce qu'il y a de plus remarquable dans cette énorme production, c'est qu'elle a pris son plus grand développement à un moment déjà avancé de l'année, contrairement à ce qui s'était produit au cours de l'année précédente. La situation s'annonce d'ailleurs comme devant continuer à être brillante, car la quantité de travail en cours à la fin de 1905 est estimée représenter la moitié du travail fait pendant une année moyenne: en d'autres termes, les chantiers britanniques terminent l'année avec six mois de travail devant eux, condition qu'on doit regarder comme tout a fait exceptionnelle et des plus satisfaisantes.

Un fait également à signaler est la forte avance que le Royaume-Uni a prise en 1905 dans la production mondiale; ses chantiers ont produit dans cette année 112 navires, 429 838 tx et 162 887 ch indiqués de plus qu'en 1904. Cet accroissement dans le tonnage est supérieur à la production totale pour la même année des chantiers allemands ou de ceux des États-Unis.

La Clyde, la Tyne, la Wear, la Tees et Hartlepool et les chantiers de la Manche donnent des productions supérieures à celles de 1904; dans les pays étrangers, il en est de même pour les États-Unis, l'Allemagne, la Hollande, le Japon, la Russie, le Danemark, la Suède et l'Espagne, tandis qu'on constate une diminution sur la Tamise, le canal de Bristol, et, à l'étranger, en France, Italie, Norvège, Autriche-Hongrie, Chine et Belgique.

Un fait qui mérite d'être signalé est qu'une grande partie du chiffre indiqué pour les États-Unis concerne le trafic des Grands-Lacs, qui était déjà, en 1901-1903 en moyenne de 160 000 tx et était retombé à 49 000 en 1904 pour se relever à 195 000 en 1905. Dans ce chiffre figurent non moins de 20 vapeurs de plus de 6 000 tx, tandis que sur les côtes maritimes on ne trouve que 3 vapeurs construits de 2 000 à 3 000 tx. Les na-

vires de guerre figurent en 1905, aux États-Unis, pour 98 000 tx de déplacement, c'est, à l'exception de 1904, le chiffre le plus élevé qui ait jamais été constaté dans ce pays.

Le plus grand navire construit dans les chantiers allemands, en 1905, est le *Kaiserin-Augusta-Victoria* de 26 000 tx, lancé à Stettin ; on y a mis à l'eau le plus grand voilier existant, le *Pamir*, de 3 000 tx.

La construction française compte un total de 73 000 tx, en diminution de 8 000 sur l'année précédente. Dans ce total, entre pour 15 000 tx la *Provence*, lancée à Penhoët et 5 autres vapeurs de 5 000 à 7 000 tx ; aucun voilier en acier n'a été mis à l'eau en 1905.

Le tableau ci-joint donne les productions annuelle constatées depuis l'année 1893 :

Années	Tonnage (gross)	Années	Tonnage (gross)
1893. . .	878 000	1900. . .	1 667 856
1894. . .	1 080 419	1901. . .	1 802 200
1895. . .	1 074 890	1902. . .	1 614 000
1896. . .	1 316 906	1903. . .	1 403 000
1897. . .	1 095 895	1904. . .	1 336 000
1898. . .	1 610 000	1905. . .	1 806 000
1899. . .	1 637 000		

Voici un autre tableau donnant, pour la même série d'années, les productions des chantiers de la marine royale avec les dépenses correspondantes et la valeur moyenne des tonneaux.

ANNÉES	NOMBRE DE NAVIRES	DÉPLACEMENT TOTAL	COUT TERMINÉ	COUT MOYEN DU TONNEAU
1890	8	22 520	30 773 000	1 225
1891	8	68 100	96 190 000	1 412
1892	9	50 450	73 010 000	1 450
1893	9	32 400	43 240 000	1 575
1894	8	26 700	45 090 000	1 665
1895	8	70 350	110 000 000	1 512
1896	9	71 970	107 200 000	1 740
1897	4	31 885	43 820 000	1 625
1898	8	70 955	111 000 000	1 565
1899	6	66 980	122 500 000	1 736
1900	4	5 230	9 865 000	1 885
1901	8	64 910	122 500 000	1 690
1902	5	51 560	93 100 000	1 805
1903	4	28 290	59 350 000	2 105
1904	4	57 100	116 500 000	2 040
1905	3	46 250	100 850 000	2 180

Ce tableau fait voir que si, en 1905, la production des chantiers de l'Amirauté a été inférieure, comme tonnage, à celle de 1904, en revanche elle est supérieure à celle des années 1903, 1900, 1897, 1894 et 1893. Un point très intéressant est l'élévation constante du prix moyen du tonneau de déplacement qui, de 1 225 f il y a quinze ans, est aujour d'hui de plus de 2 000 f, cela tient en partie au coût plus élevé du travail actuel des arsenaux, et, dans une large mesure aussi, à la construction plus onéreuse des navires d'aujourd'hui; on sera frappé de l'énormité du total qui représente une somme de 1 285 millions de francs pour une période de seize années pendant laquelle il a été construit 105 navires, dont, par conséquent, le prix moyen ressort à 12 240 000 f. Pour les 3 construits en 1905, le prix moyen s'élèverait à 33 600 000 f, si les chiffres du tableau sont exacts, comme nous le supposons, puique nous les trouvons dans les journaux anglais et surtout si les dépenses indiquées s'appliquent uniquement à la construction des trois navires, ce qui ne paraît pas certain.

Le tonnage total des navires mis à l'eau dans les quatorze principaux pays du monde en 1905 s'élève à 1 127 353 tx, contre 1 051 000 tx en 1904. Les États-Unis viennent en tête avec 368 775 tx contre 199 478 pour l'année précédente et l'Allemagne suit avec 312 400 tx contre 259 200 pour l'année précédente.

Il est intéressant, croyons-nous, de compléter ces renseignements par la production des machines marines dans les divers ateliers du Royaume-Uni dans les années 1904 et 1905; les puissances sont exprimées en chevaux indiqués.

		1904	1905
Clyde	ch	432 815	518 547
Forth	—	10 250	12 795
Tay	—	9 120	22 950
Dee	—	9 955	11 805
Tyne	—	307 860	265 227
Wear	—	154 185	189 849
Tees	—	115 720	149 000
Humber	—	27 645	43 980
Côte Nord-Ouest	—	91 450	77 309
Tamise	—	104 331	79 905
Manche	—	18 101	13 961
Irlande	—	57 350	116 281
TOTAUX	ch	1 338 782	1 499 609

On voit, par ces chiffres, que le total de 1905 dépasse celui de 1904 de 160 827 ch; toutefois, cet accroissement se répartit assez inégalement, car il est négatif dans plusieurs districts; il y a, en effet, diminution de la production sur la Tyne, la Tamise, la Côte Nord-Ouest et la Manche. Il est intéressant de noter la part de la turbine à vapeur dans cette production. La Société Parsons, de Wallsend sur la Tyne a construit, en 1905, une puissance totale de 50 600 ch, contre 48 200 en 1904 et 26 400

en 1903. C'est la maison Richardson, Westgarth et Cie, de Hartlepool, Middlesbrough et Sunderland qui tient la corde, ayant construit, en 1905, pas moins de 41 machines marines variant entre 650 et 5 500 ch, plus des turbines Parsons pour 10 500 ch et divers moteurs à gaz ou à vapeur pour 38 100 ch, ce qui donne un total général de 124 350 ch. L'année précédente, ce chiffre ne s'élevait qu'à 92 990, et en 1903 à 82 500 ch indiqués. Après vient la North-Eastern Marine Engineering Co pour 104 385 ch contre 105 385 pour l'année précédente.

La production de l'aluminium aux États-Unis. — Le Niagara est devenu le centre de la production de l'aluminium aux Etats-Unis et celle-ci paraît s'y devoir développer encore, car on annonce que la Pittsburg Reduction Co a traité avec la Société des chutes du Niagara pour une puissance de 27 000 ch à fournir dès 1907. La première a également pris en location de la seconde une étendue de 4 acres de terrain pour l'installation d'une fabrique d'aluminium.

Cette fabrique serait la plus grande du monde; elle comporterait un bâtiment de 180 m de longueur, entièrement construit en acier et ciment et par conséquent à l'abri de l'incendie. On ne couvrira provisoirement qu'une partie des terrains, le reste devant être utilisé pour des développements futurs de cette industrie. On peut s'attendre à ce que la production américaine de l'aluminium se trouve très notablement augmentée par suite de cette installation.

Il y a vingt-deux ans, les États-Unis produisaient à peine 40 kg d'aluminium par an; ce n'est qu'en 1891 que la production a atteint un chiffre assez élevé 45 000 kg. En 1904, la dernière année pour laquelle on possède des statistiques, le total de la fabrication s'est élevé à 3 895 000 kg, chiffre supérieur de 50 000 kg en nombre rond à la production de l'année précédente.

L'accroissement énorme qui s'est produit dans la fabrication de ce métal est dû principalement à la création des installations destinées à l'utilisation des chutes du Niagara et à la construction des deux grandes usines qui s'y trouvent. Cet accroissement a amené une baisse très sensible dans le prix de l'aluminium et ce métal a pu devenir un concurrent du cuivre dans l'installation des transmissions électriques de force aux États-Unis. L'industrie électrique a bénéficié, dans une large mesure, de ce progrès et la nouvelle fabrique qui va se créer amènera une augmentation nouvelle de la production; celle-ci pourra ainsi faire face aux demandes amenées par de nouvelles applications qui se produisent tous les jours de ce métal; d'après l'*Iron Age* auquel nous empruntons les renseignements ci-dessus.

Épuration des eaux potables à Alexandrie. — La ville d'Alexandrie est alimentée en eau potable par le canal Mahmoudieh qui la relie au Nil. Dans le cours de l'année dernière, l'Alexandria Water Co. qui assure le service de la distribution d'eau, a complété son installation par l'établissement d'un système complet d'épuration, en même temps qu'elle renouvelait presque entièrement sa station de pompage;

ces importants travaux ont été projetés et exécutés selon les derniers perfectionnements.

Le traitement auquel est soumis l'eau brute comprend deux phases : une précipitation par action chimique et une filtration.

L'agent utilisé pour produire la précipitation est le sulfate d'alumine. Préparé en solution dans trois réservoirs en bois de 2,45 m de diamètre et 2,10 de hauteur, il est déversé d'une manière automatique à la dose voulue dans la conduite de refoulement de l'eau brute; les réservoirs ne débitent pas simultanément, mais un seul à la fois qui met douze heures à se vider; pendant cette période, les deux autres réservoirs sont utilisés pour la dissolution de l'agent de précipitation.

L'eau ainsi chargée d'alumine est dirigée vers les bassins de précipitation où elle circule lentement; ces bassins, au nombre de trois, sont établis suivant les indications recueillies au cours d'expériences qui ont été poursuivies pendant plusieurs années sur des modèles réduits de différents types.

Ils sont construits en maçonnerie, leur alimentation se fait par le bas et le départ de l'eau par le haut. Ils contiennent chacun 4 400 m³; leur capacité totale représente à peu près le tiers de la consommation journalière maxima que les hypothèses fixent à 36 000 m³.

Leur fonctionnement donne toute satisfaction, ils retiennent de 70 à 80 0/0 des matières que l'eau retenait en suspension et réduisent alors grandement le travail de la filtration.

Celle-ci s'effectue dans dix-huit filtres, du type de la Jewell Export Filter C°, de New-York, très employé aux États-Unis, mais très peu connu en Europe.

Ces filtres, d'un débit journalier de 2 000 m³, affectent la forme cylindrique. Ils mesurent 5,20 m de diamètre; ils sont entourés, à leur partie inférieure, d'un bac annulaire dans lequel arrive l'eau venant des bassins de décantation et d'où elle s'échappe par déversement superficiel par-dessus l'arête supérieure de l'enveloppe de filtre qui constitue ainsi un déversoir circulaire.

La couche filtrante est constituée par du sable; son épaisseur est d'environ 1 m; elle repose sur un lit de fin gravier dans lequel sont noyées 900 petites grenouillères en laiton perforé; ces grenouillères, placées verticalement, à quelques centimètres l'une de l'autre, et vissées sur des conduites en fer étiré, absorbent l'eau filtrée qui baigne le gravier et la déversent dans les conduites qui la mènent à leur tour à l'appareil de contrôle; celui-ci est construit de façon à régler automatiquement la marche des filtres, afin que le fonctionnement de ces appareils soit aussi régulier et uniforme que possible.

Le réservoir d'eau épurée se trouve au-dessus des dix-huit filtres; les supports de ceux-ci, construits en béton, traversent la couverture de ce réservoir qui forme le sol du bâtiment des filtres et vont prendre appui sur son radier. Un peu au-dessous du niveau de la partie supérieure des cuves filtrantes règne un plancher général, au niveau duquel sont réunis tous les appareils de manœuvre. Toute cette partie de l'installation est abritée par une construction en briques de 42 m de longueur sur 31 m de largeur.

Un dispositif très simple et de manœuvre facile permet le lavage des filtres; un petit réservoir de 225 m³, établi en surélévation sur le sol, est alimenté d'eau filtrée au moyen d'une pompe centrifuge. Quand il est rempli, il assure une pression d'eau d'une douzaine de mètres sur le sommet des filtres; il est relié par une canalisation avec les conduites de sortie de ceux-ci. Veut-on laver un lit filtrant? On ferme les conduites d'arrivée et de départ et on ouvre la vanne qui donne la communication avec le petit château-d'eau. Un courant d'eau pure, circulant de haut en bas, s'établit dans la couche de sable que l'on remue d'ailleurs dans toute son épaisseur au moyen d'un rateau rotatif à longues dents. L'opération dure de quatre à cinq minutes selon l'état du filtre.

On procède, en général, pour chaque appareil, à un lavage par vingt-quatre heures; toutefois, pendant l'été, quand les eaux sont très chargées, on renouvelle l'opération deux fois par jour.

Les résultats obtenus par la mise en service de l'installation qui vient d'être décrite sont remarquables; l'analyse bactériologique révèle que le nombre des microbes par centimètre cube, qui atteint 8000 dans l'eau brute, tombe à 20 dans l'eau filtrée.

Le coût de l'ensemble des travaux, y compris le renouvellement des machines et des pompes élévatoires, est de 2 150 000 f. Nous trouvons dans les *Annales de Travaux Publics de Belgique* ces renseignements tirés de la revue anglaise *Water*.

Les chaînes des nouveaux paquebots Cunard. — Les nouveaux paquebots à turbines en construction pour la Compagnie Cunard et dont nous avons déjà eu occasion de parler, ont des dimensions exceptionnelles et on comprend qu'ils aient besoin d'accessoires correspondants. Nous allons dire quelques mots de leurs câbles-chaînes.

La très ancienne maison Brown, Lenox et C° de Pontyprid, dans le Sud du Pays de Galles, exécute en ce moment pour MM. Swan, Hunter et Wigham Richardson, de Wallsend sur la Tyne, les câbles-chaines destinés au navire que ces constructeurs font pour la ligne Cunard. Ces chaines sont en fer de 95 mm de diamètre; chaque maillon a 0,565 m de longueur et pèse avec son étai en acier fondu environ 72,5 kg.

D'après le marché, le fabricant des chaines doit fournir trois maillons pour être soumis à des essais à rupture; ces maillons ont été coupés et détachés de la partie déjà faite de la chaine et envoyés à l'établissement d'essai du Lloyd, à Netheton, dans le Staffordshire; cet établissement possède la plus puissante machine à essayer du pays, laquelle a une licence du *Board of Trade* pour les épreuves des chaines et des aciers des plus forts échantillons.

Les maillons envoyés ont d'abord été essayés à la charge d'épreuve de l'Amirauté, soit 190 t, charge sous laquelle chacun des maillons a subi un allongement d'un peu moins d'un quart de pouce, soit 4,2 mm.

On a ensuite poussé l'effort de traction jusqu'à la charge de rupture réglementaire de 265,7 t ou 269 655 kg, où on constata simplement un nouvel allongement de 19 mm; on essaya ensuite de rompre le maillon, mais l'effort maximum de la machine qui est de 350 t et fut même poussé, suivant l'estimation des expérimentateurs, à plus de 370 t fut

impuissant. A l'examen, on n'a trouvé aucun indice de commencement de rupture.

Cet effort de 370 t anglaises correspond, d'après la dimension du fer, à un effort de 45,78 kg par millimètre carré de la double section. Le fer est d'une qualité spéciale fait chez les fabricants ainsi que l'acier fondu au creuset qui sert a confectionner les étais.

Ce sont MM. Brown, Lenox et C^ie^ qui avaient fait les chaines du fameux *Great Eastern*, lesquelles constituaient un record pour l'époque. Elles étaient en fer de 73 mm de diamètre; I. K. Brunel, qui avait fait les plans du navire, avait été tellement satisfait de ces chaines qu'il avait voulu se faire photographier avec. ou comme il disait en plaisantant « au milieu des chaines ». L'*Iron and Coal Trades Review*, auquel nous empruntons les renseignements qui précèdent, reproduit cette photographie.

COMPTES RENDUS

OCIETE D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

NOVEMBRE 1905.

Notice nécrologique sur M. **Risler**, par M. TISSERAND.

Rapport de M. FLAMANT, sur **le nouveau carton ondulé** fabriqué par M. THIÉBAUT, à Vitry-sur-Seine.

L'emploi du carton ondulé pour emballages remonte à vingt-cinq ans environ; ce produit s'est rapidement répandu, cependant il présente des inconvénients et on est obligé de coller sur les sommets des ondulations une feuille de papier uni pour lui donner une certaine résistance d'ailleurs insuffisante pour l'emballage des objets un peu lourds.

M. Thiebaut a imaginé un produit nouveau auquel il a donné le nom d'*Ondulium;* pour le préparer, on fait passer le carton à onduler entre des chaines sans fin dont les maillons se pénètrent les uns les autres; ces chaines sont chauffées à une température élevée par une rampe à gaz; on obtient ainsi un emboutissage bien supérieur à celui qui est produit par les cylindres cannelés et la résistance du carton est beaucoup plus grande. Ces cartons, couverts de plâtre ou de ciment, constituent des matériaux qui peuvent être utilisés dans la confection des cloisons légères et même des toitures. On peut signaler enfin leur emploi comme calorifuge.

Des expériences, faites au Conservatoire en février 1905, ont permis de constater qu'un tube revêtu de calorifuge ondulium a été maintenu pendant quatre jours à une température supérieure de 310 degrés environ à la température ambiante qui était de 14 degrés et n'a subi aucune altération; il passait, pour cet écart de 310 degrés par mètre carré et par heure, 1 610 calories, alors que, pour le tube nu, il en passait 5636, soit une économie de 71 0/0.

L'œuvre du colonel Renard, par le commandant PAUL RENARD, conférence faite à la Société d'Encouragement, le 26 mai 1905.

Le matériel agricole au début du XX^e^ siècle, par M. RINGELMANN *(suite)*.

Dans cette partie, l'auteur s'occupe de l'invention des machines agricoles, et entre dans des détails intéressants sur la construction de ces machines et sur les principaux ateliers où elle est exécutée en France, tels que la fabrique de Liancourt (Oise), la maison Albaret, de Rantigny (Oise), la maison Brouhot, à Vierzon, etc. La note donne ensuite quelques renseignements sur la production des machines-outils aux États-Unis et en Angleterre.

Revue des périodiques du trimestre, par M. G. Richard.

Nous trouvons traités dans cette revue les sujets suivants : machine Lowry, pour la récolte mécanique du coton, pieux en ciment, appareil pour l'étude de la résistance des murs de soutènement, station centrale de chauffage de Dresde, locomotive compound articulée du chemin de fer du Nord, chaudière de locomotive système Brotan, machine à vapeur à piston chauffé François, machines d'extraction électriques.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Nous signalerons parmi ces notes : une étude de M. Dunstan sur la rouille du fer, sa production et sa prévention, le noir d'acétylène, la réversibilité du développement photographique et l'action retardatrice des bromures solubles, la fabrication des papiers d'art, le laboratoire des essais à l'Hôtel des Monnaies, à Paris; l'utilisation de l'azote de l'air, la combustion de l'acétylène et le dosage du tanin au moyen de la strychine.

L'enseignement professionnel et la question de l'apprentissage, par M. Alfassa.

Notes de mécanique. — On trouvera dans ces notes un article sur les palplanches en acier, un sur les condenseurs à surface, une note sur la corrosion des tubes de condenseurs à la mer et une sur les porte-plume à réservoir.

Décembre 1905.

Rapport sur **la situation financière de la Société.**

Notice nécrologique sur **M. Ed. Simon,** par M. Brull.

Nous croyons devoir recommander à l'attention des membres de notre Société cette notice sur un de nos plus sympathiques Collègues. due à la plume autorisée d'un de nos anciens Présidents.

Rapport de M. Pillet sur **un châssis à tendre la toile,** dit *Rationnel,* de M. E.-I.-A. Gaillet.

L'inventeur s'est proposé de réaliser la tension de la toile ou du châssis sans choc, c'est-à-dire par un effet continu, à la fois doux et énergique réalisé par l'écartement de deux demi-châssis sous l'action d'une vis à filets inverses qu'on peut faire tourner à l'aide d'un simple clou.

Rapport de M. A. Livache sur **la grille-cadre,** de M. Tourneux.

Cet appareil se rapporte à l'industrie du corroyage et sert à maintenir la feuille de cuir pour éviter, lors de la dessiccation de ce cuir, tout mouvement de retrait ou de gauchissement.

Rapport de M. A. Livache sur une étude de M. I. Prevet relative à **l'enseignement technique des industries du cuir en Angleterre.**

Rapport de M. Paul Toulon sur **la machine à écrire Hammond.**

Cette machine rentre dans la catégorie des machines à écriture visible dans lesquelles les caractères sont groupés sur une surface cylindrique mobile, mais elle présente des particularités qui la différencient des autres machines de la même classe, notamment la facilité de changer l'organe qui porte les caractères de manière à changer très rapidement tout l'ensemble de ceux-ci et de permettre ainsi à la machine d'imprimer une série de caractères de forme toute différente.

Le matériel agricole au début du XX^e^ siècle, par M. Ringelmann *(suite et fin).*

L'auteur entre, dans cette partie, dans des considérations très développées sur les conditions de l'emploi des machines agricoles et l'organisation du travail dans une exploitation rurale ; il est amené au cours de cette étude à s'occuper de la question des accidents et de la responsabilité qu'ils entrainent.

Il termine cette introduction d'une importance déjà considérable par un aperçu sur l'organisation des associations d'achat et d'emploi des machines agricoles qui facilitent dans une large mesure l'introduction des procédés mécaniques en agriculture.

Sur **la réglementation du travail** et les retraites des employés de chemins de fer, par M. A. Alfassa.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Ces notes traitent des sujets suivants : le soufre américain en Europe, les propriétés du fer-carbonyle, étude chimique des combustibles fossiles, la liquéfaction de l'air appliquée à la séparation de l'oxygène et de l'azote, sur l'utilisation de l'azote atmosphérique, emploi de l'hydrogène pour le gonflement des ballons, l'acide formique en distillerie, la désinfection par les fumées, absorption des solutions métalliques par les textiles, détermination des sensations colorées et estimation de la valeur des chiffons de dégraissage, etc.

Notes de mécanique. — Les moteurs à gaz au service de la navigation et le moteur à gaz Davey Paxman.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

3^me^ trimestre de 1905.

Notice sur **la dérivation des sources du Loing et du Lunain,** par MM. Bechmann et Babinet, Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées.

Les auteurs exposent, au début de cette note, que la dérivation des sources du Loing et du Lunain, la quatrième opération de ce genre

qu'ait entreprise la Ville de Paris depuis 1860, pour l'alimentation en eau potable, après celles de la Dhuis, de la Vanne et de l'Avre, n'est autre chose que le premier tronçon de la branche est de la *dérivation bilatérale* de 240 000 m³ de capacité journalière conçue par Couche et préparée sous sa direction en 1884, par M. Bechmann, alors Ingénieur ordinaire. C'est seulement après l'achèvement de la dérivation de l'Avre, en 1893, que l'administration municipale, sous la pression de besoins incessamment croissants, a dû envisager la nécessité d'aborder, à son tour, la branche est de la dérivation projetée en 1884.

La déclaration d'utilité publique pour ces travaux a été rendue le 21 juillet 1897 et ils ont été terminés en moins de trois années.

Les sources sont situées dans l'est de l'arrondissement de Fontainebleau ; leur peu d'altitude exigeait un relèvement de 44 m de la totalité du volume, ce qui a obligé à établir une usine élévatoire importante à Sorgue, usine mue par la vapeur au moyen de quatre moteurs horizontaux à distribution Corliss, commandant directement les pompes. Le travail à faire ressort à 400 ch environ.

En dehors de cette usine, les travaux importants comprennent un aqueduc principal de 72 km, des aqueducs secondaires, des conduites libres et des conduites forcées ; ces dernières, d'un développement de 15 000 m, sont en fonte frettée en acier, de 1,25 m et 1,50 m de diamètre. On trouvera, dans la note dont nous nous occupons, d'intéressants détails sur les épreuves faites de ces tuyaux.

Le total de ces travaux coûte 21 millions de francs en nombre rond. Une de leurs particularités les plus remarquables consiste dans le captage profond de toutes les émergences qui pouvaient être contaminées par les eaux superficielles ; c'est le premier exemple que l'on constate de cette préoccupation pour des captages autres que ceux des eaux minérales dont le débit est beaucoup plus faible.

Mémoire sur un **tracé graphique des paraboles du 4me degré**, par M. Farid Boulad, ancien Élève de l'École des Ponts et Chaussées.

Consolidation du barrage de Grosbois, par M. Gallior, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Ce barrage a été construit en 1832 ; la longueur de digue est de 550 m en couronne et la retenue d'eau de 22,30 m au maximum.

A plusieurs reprises, on dut y faire des travaux de consolidation plus ou moins importants.

Enfin, en 1898, pour remédier à des mouvements considérables et après avoir examiné diverses solutions, on fut conduit à la création d'un réservoir supplémentaire ou contre-réservoir compris entre le mur actuel et une digue située à 240 m en aval, ce contre-réservoir ayant son niveau à 8 m au-dessous de celle du réservoir principal décharge d'autant le barrage.

Cette solution, mise à exécution, paraît avoir donné de bons résultats jusqu'ici.

ANNALES DES MINES

9me livraison de 1905.

Étude sur **la condition des ouvriers des mines en Australie,** par M. G. Glasser, Ingénieur des Mines *(suite)*.

Gisements stannifères au Laos français, par M. L. Gascuel, Ingénieur civil des Mines.

L'auteur décrit de curieux gisements d'étain qui existent dans le pays qui s'étend sur la rive gauche du Mékong, au-dessous des rapides de Kemmarat ; ce sont des dépôts de limonite, parfois très manganésifères qui font manifestement partie de la formation des grès ; la limonite se trouve, non en masse solide et continue, mais découpée en blocs isolés, plus ou moins volumineux et séparés les uns des autres par des traînées irrégulières de minerai sablonneux. Outre le manganèso et l'étain, la limonite renferme de l'antimoine et du bismuth, mais peu de soufre.

Les indigènes exploitent ces gisements par des puits très peu profonds, 4 à 5 m tout au plus, sans boisages ni soutiens ; le minerai est transporté par les femmes et les enfants au village, concassé grossièrement et lavé puis fondu avec du charbon de bois dans de petits fours soufflés par de grossières souffleries à pistons mus à la main ; on obtient de l'étain mélangé de 10 à 20 0/0 d'impuretés qui se vend à des négociants chinois. La production est de 2 à 3 t par an. Il ne semble pas que ces gisements soient assez importants pour pouvoir être exploités à l'européenne.

10me livraison de 1905.

Etude sur **la condition des ouvriers des mines en Australie,** par M. G. Glasser, Ingénieur des Mines.

Commission du grisou. — Résultats obtenus au siège d'expériences de Frameries, **avec les explosifs de sûreté.** — Rapport présenté à la Commission par M. G. Chesneau, Ingénieur en chef des Mines, secrétaire de la Commission.

Le rapport expose que les expériences faites à Frameries par les Ingénieurs de l'État belge n'ont, en réalité, apporté aucun élément nouveau dans la question des explosifs de sûreté, car elles n'ont fait que répéter, en les étendant à de nouveaux mélanges, les expériences faites à Gelsenkirchen ; il conclut que ces expériences ne comportent, quant à présent, aucune suite administrative en France.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Novembre-Décembre 1905.

DISTRICT DE SAINT-ÉTIENNE.

Réunion du 14 octobre 1905.

Communication de M. PIGEOT sur **le matériel des mines à l'Exposition et au Congrès de Liége 1905.**

Dans cette communication, l'auteur signale les objets qui ont le plus attiré l'attention et les principaux sujets traités au Congrès, parmi lesquels il indique plus particulièrement : le fonçage des puits, le soutènement, les machines d'extraction, les pompes, le grisou et les explosifs, le triage et lavage des charbons, etc.

Communication de M. LANÇON sur **le marteau perforateur Ingersoll-Sergeant.**

Le marteau-perforateur qu'on commence à employer dans quelques exploitations minières pour remplacer le burin à main ordinaire est un outil ne pesant que 7 kg ; il peut être tenu à la main comme un marteau à river ou être monté sur trépied à colonne comme une perforatrice à percussion.

La note décrit le mécanisme de distribution de l'air qui fait agir le marteau. Un appareil de ce genre, essayé aux mines de la Loire, a donné une longueur de trous perforés, en un jour, de 15,80 m, contre 7,50 m à la main dans le même temps.

On doit considérer ce marteau-perforateur comme un outil à la fois simple et robuste qui pourra rendre d'excellents services dans les percements de rocher les plus difficiles.

Réunion du 11 décembre 1905.

Communication de M. FRANCIS LAUR sur **les anticlinaux de Trias, en Lorraine, et la recherche de la houille.**

Cette communication est relative à l'exposé de considérations géologiques relatives aux gisements houillers dont on opère actuellement la recherche en Lorraine et qu'on regarde comme le prolongement du bassin houiller de Sarrebruck.

JANVIER 1906.

DISTRICT DU NORD.

Réunion du 29 octobre 1905.

Communication de M. KUSS, Ingénieur en chef des Mines, sur **les coupes des bassins du Nord et du Pas-de-Calais** exposées à Liége par la Chambre des Houillères.

Ces coupes étaient contenues dans huit vitrines, quatre pour chaque

bassin, de 2,69 m de longueur, écartées les unes des autres de manière à représenter à une échelle de 1/10 000e un rectangle de 56 × 26 km pour le bassin du Pas-de-Calais et de 49 × 49 km pour celui du Nord. Ce travail est revenu à 10 000 f environ à la Chambre des Houillères, sans compter les dépenses des Compagnies pour la préparation du travail et l'exécution des plans et coupes sur verre et sur papier.

Communication de M. Dinoire sur **une application de cimentage direct dans le creusement d'un puits.**

Le procédé dont il s'agit consiste, en somme, pour aveugler une importante venue d'eau dans le fonçage d'un puits et établir un serrement :

1° A faire des coulées de ciment dans la cassure et dans l'ouverture du plat banc par des conduites des tuyaux ;

2° A faciliter la pénétration du ciment dans les terrains en épuisement sur des sondages à forer à l'extérieur du puits ;

3° A cimenter les sondages ;

4° Enfin à attendre ensuite la prise complète du ciment.

Communication de M. Swingedauw sur **les machines d'extraction électriques.**

L'auteur, après avoir discuté les conditions d'établissement et de fonctionnement des machines d'extraction électriques arrive à la conclusion suivante :

En résumé, si on se tient au présent, la machine à vapeur peut rivaliser avec la commande électrique. Si on envisage l'avenir, la tendance de plus en plus caractérisée de constituer des usines centrales électriques commandant tous les engins d'exploitation des mines, permet de prédire que l'avenir est à la commande électrique.

Communication de M. Barry sur **le fonçage et le guidage simultané du puits n° 2 de Vieux-Condé.**

Le programme qu'on s'était proposé était de creuser rapidement et économiquement, en assurant la sécurité du personnel, 500 m de puits de 5 m de diamètre utile et de 6,60 m de diamètre total, le puits devant recevoir un revêtement en maçonnerie de 0,80 m d'épaisseur. Grâce aux mesures prises et qu'on trouvera dans la communication, on a réalisé en neuf mois 180 m de puits.

Communication de M. Leprince-Ringuet sur **les installations collectives du bassin de la Ruhr** se rattachant à la sécurité et au progrès de l'exploitation des mines.

Communication de M. Sainte-Claire Deville sur **un procédé simplifié de remblayage hydraulique** employé aux mines de l'Escarpelle.

Ce procédé repose sur l'emploi de l'eau surtout comme moyen de mise en place du remblai dans la taille et le moins possible comme moyen de transport ; le liquide remplaçant simplement la pelle du remblayeur.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 48. — *2 décembre 1905.*

Pompes à air pour machines marines, par C. Strehel.

Procédé photographique de mesure de la hauteur des vagues, par W. Laas *(suite)*.

Machine frigorifique de 1 000 ch pour entrepôts, à Boston, par G. Döring.

Musée de modèles pour les sciences et la technologie.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Courbes de vibrations.

Groupe de Berg. — Expériences sur la formation des eaux souterraines.

Groupe de Hanovre. — Constructions en ciment armé.

Groupe de Posen. — Indicateur de vitesse.

Groupe de Schleswig-Holstein. — Moteur à vent, système Sorrensen.

Groupe de Wurtemberg. — Les normes de Wurzbourg et de Hambourg en 1805.

Revue. — Le travail et les salaires. — La traction électrique sur un tunnel de la Mersey. — Turbines Parsons pour navires.

N° 49. — *9 décembre 1905.*

Moteurs à vapeur des installations électriques de Berlin.

Les premières machines à vapeur en dehors de l'Angleterre, par C. Matschoss.

Procédés photographiques pour mesurer la hauteur des vagues, par W. Laas *(fin)*.

Pompes à air pour machines marines, par C. Strehel *(suite)*.

Groupe de Berg, — Un cas observé dans une visite de chaudière à vapeur.

Groupe de Carlsruhe. — La sécurité dans l'exploitation des chemins de fer.

Groupe de Poméranie. — Expériences de rendement sur des chaudières et machines à vapeur.

Groupe de Schleswig-Holstein. — Le ventilateur Sirocco.

Bibliographie. — Appareils de levage, par W. Piekersgill.

Revue. — Surchauffage de la vapeur entre les cylindres des machines compound, par E. Fränkel. — Déplacement du phare de Wittenbergen sur l'Elbe. — Pont en ciment armé sur la Seille. — Laboratoire de mécanique de l'Université de Birmingham. — Trafic du Canal Morris. — Machine à fraiser de la fabrique de machines Ingersoll.

N° 50. — *16 décembre 1905.*

Turbines allemandes au Niagara, par A. Ungerer.

Pompes à air pour machines marines, par C. Strebel *(suite)*.

Exposition de Liége en 1905. — Les machines-outils, par C. Schlesinger *(suite)*.

Groupe du Palatinat-Saarbruck. — Turbines à vapeur à la station de force de la gare de Saarbruck.

Groupe de la Ruhr. — Générateur annulaire Frederic Jahns.

Revue. — Pont de chemin de fer sur le Mississipi à Thèbes. — Installations électriques à Essen. — Le second chemin de fer transcontinental au Canada.

N° 51. — *23 décembre 1905.*

Exposition de Saint-Louis en 1904. — Le matériel de chemins de fer, par Fr. Gutbrod *(suite)*.

Machines à essayer les ancres et les chaines, construites par la fabrique de machines Mohr et Federhoff, à Mannheim.

Appareils de séchage, par K. Reyscher.

Expériences sur l'élasticité des foyers ondulés, par C. Bach.

Aperçu sur la pratique des administrations allemande et autrichienne de brevets d'invention, par F. Kick.

Groupe de Bochum. — Les houillères du Rhin et de la Westphalie. — La Société des Mines de Gelsenkirchen.

Groupe de Dresde. — Nouveautés dans la question des moteurs à gaz.

Groupe de Francfort — Développement technique de l'automobilisme.

Groupe de Mannheim. — État actuel de la fabrication électro-thermique du fer et de l'acier en Europe. — Le kryptol et son emploi pour le chauffage et le soudage.

Groupe de la Haute-Silésie. — Les houillères de Kostuchua.

Revue. — Machine électrique d'extraction du puits Mathias Stinnes. — Le travail et les salaires. — Chemin de fer électrique aérien et souterrain à Hambourg. — Tour à fileter de la maison Sir W. Armstrong, Whitworth et C^{ie}.

N° 52. — *30 décembre 1905.*

Le pont en arc sur le Zambèze à Victoria-Falls, par G. Barkhausen.

Exposition de Saint-Louis en 1904. — Le matériel de chemin de fer, par Fr. Gutbrod *(fin)*.

Pompes à air pour machines marines, par C. Strebel *(fin)*.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — La construction du tunnel du Simplon aux points de vue technique et commercial.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Le mécanisme et la marche des automobiles. — Les normes de Wurzbourg et de Hambourg en 1905.

Groupe de Hanovre. — Les fours de fusion pour les métaux.

Groupe de la Thuringe moyenne. — Les sources de lumière.

Revue. — Canalisation d'eau sous pression à l'hippodrome de New-York. — Consommation des freins à air comprimé. — Chemin de fer électrique aérien et souterrain à Philadelphie. — Atelier d'essai pour turbines à vapeur.

N° 1. — *6 janvier 1906.*

Formation des fissures dans les tôles de chaudières, par C. Bach.

Locomotive pour trains express du chemin de fer Malmö-Ystad, par A. Doeppner.

Le paquebot transatlantique à turbines *Carmania*, par K. Kaemmerer.

Nouvelles installations de déchargement à Brême, par la maison Amme, Giesecke et Konegen, à Brunswick, par M. Buhle.

Groupe de Berlin. — Nouveau gazogène pour force motrice.

Groupe de Dresde. — Machine à graver et presse hydraulique rapide pour la frappe des monnaies.

Groupe d'Alsace-Lorraine. — Méthode de Brinell pour l'essai des métaux. — Explosion de récipients à oxygène.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Automobiles pour transports industriels.

Bibliographie. — Études sur les pompes centrifuges, par G. Förster.

Revue. — Solidité de l'écriture des machines à écrire. — Appontement de Swakopmund. — Atelier de modèles de la Brown Hoisting Machinery C°, à Cleveland.

N° 2. — *13 janvier 1906.*

Immersion d'un conduit dans un des bassins du bort de Hambourg, par C. Merckel.

La soudure autogène des métaux, par E. Wiss.

Estimation expérimentale de l'angle le plus favorable des aubes de turbines, par Camerer.

Machine pour creuser les fossés, par E. Eichel.

Déformation des tôles par des pressions intérieures ou extérieures, par Ph. Forchheimer.

Groupe de Borg. — Coût de la force par moteurs électriques ou à vapeur.

Groupe de Schleswig-Holstein. — La photographie en couleurs.

Groupe de Siegen. — Pistons avec ou sans segments pour machines à vapeur.

Bibliographie. — Transports électriques de force, par W. Philipp.

Revue. — Machine à faire les tourillons des arbres coudés. — Dynamos à courants alternatifs des ateliers Felten et Guilleaume,

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Législation des Eaux (1)
par MM. Louis Courcelle et E. Dardart.

Aussitôt après la promulgation du Code civil, l'attention des pouvoirs publics fut appelée sur le manque de bases législatives pour réglementer le régime des eaux; aussi des commissions consultatives furent-elles instituées dès 1808 dans chacun des chefs-lieux de Cour d'appel pour donner un avis qui fut émis en 1814 sans qu'il pût lui être donné de suite, en raison de la situation politique de cette époque. Après des vicissitudes diverses et des travaux législatifs interrompus maintes fois au cours de trois quarts de siècle, le projet aboutit enfin aux lois des 8 avril et 21 juin 1898 et 15 février 1902.

Au moment où l'utilisation de la houille blanche va jouer un rôle si important pour notre industrie nationale, l'attention des Ingénieurs comme des propriétaires est sans cesse appelée sur le régime des eaux pluviales, des sources et des eaux souterraines, ainsi que des rivières non navigables, ni flottables.

De même, l'exécution du projet Baudin fera naître mille questions relatives aux voies navigables, aux ports, havres et rades. Enfin les irrigations, comme les alimentations en eau des communes, sont sans cesse à l'ordre du jour.

On doit donc savoir gré à MM. Courcelle et Dardart de leur étude très complète et de réelle actualité qui réunit pour la première fois tous les documents officiels relatifs à la législation des eaux fluviales, maritimes et autres, aux sources, à l'assainissement et à la navigation maritime et intérieure. J. G.

Hydraulique agricole et urbaine, par G. Bechmann (2).

Ce volume renferme le cours professé par l'auteur à l'École des Ponts et Chaussées.

Après quelques généralités montrant l'importance de l'eau en agriculture, son influence sur la vie urbaine, la répartition et l'aménagement des eaux, la situation en France et à l'étranger. les progrès à réaliser pour la meilleure utilisation de cet élément dont le rôle devient chaque jour plus considérable en raison des progrès généraux de la science et de l'industrie, M. Bechmann divise l'ouvrage en trois parties :

La première est intitulée : Hydrologie, généralités sur le régime et l'aménagement des eaux. On y étudie d'abord l'aspect et la composition des eaux météoriques avec des notions sur la pluviométrie et le régime

(1) In-16, 185 × 120 de VIII-952 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1905. Prix : relié, 15 francs.

(2) In-8°, 255 × 165 de 642 p. avec fig. Paris, Ch. Béranger, 1905. Prix : broché, 20 f.

des pluies, puis on passe en revue l'évaporation par les surfaces d'eau et par le sol, le ruissellement, l'infiltration. Les chapitres suivants ont trait aux eaux de superficie et aux eaux souterraines, aux effets utiles et nuisibles produits par les différentes sortes d'eaux et aux travaux ayant pour objet de combattre les effets nuisibles.

Suivent quelques considérations sur l'utilisation de la pente des cours d'eau, cette houille blanche à l'ordre du jour; puis viennent les chapitres sur la recherche et l'appréciation qualitative et quantitative des eaux, les travaux de captage, l'amélioration des eaux naturelles, enfin l'adduction des eaux par la gravité et l'élévation mécanique de l'eau.

La deuxième partie a trait à l'hydraulique agricole. Elle débute par des notions de génie rural, et l'auteur, abordant le rôle de l'eau en agriculture, étudie d'une façon très complète la question des irrigations, les limonages et colmatages en eau douce et salée, les desséchements des marais, les assainissements et les drainages, il termine par la fixation des dunes.

La troisième partie se rapporte à l'hydraulique urbaine, on y trouve tout d'abord des notions de salubrité où l'on met en relief le rôle capital de l'eau dans l'hygiène des villes. Les chapitres qui suivent consacrés aux eaux utiles passent en revue leur approvisionnement, les réservoirs de distribution, les réseaux de conduite, leur établissement et leur entretien, puis l'eau sur la voie publique et dans les maisons.

En second lieu l'auteur examine la question des eaux nuisibles des villes, les différents systèmes adoptés pour leur évacuation, leur canalisation, les réseaux d'égouts, leur construction et leur curage. Enfin il termine par l'épuration de ces eaux.

En traitant avec une grande compétence toutes ces questions relatives à l'utilisation rationnelle de l'eau, le savant professeur contribue à l'extension de l'art de l'Ingénieur pour la solution des problèmes à l'ordre du jour qui mettent en jeu la richesse et la santé publiques.

J. G.

Construction des usines au point de vue de l'hygiène, par MAINGUET, Ingénieur-Architecte, ancien élève des Écoles d'Arts et Métiers (1).

C'est un livre pratique, concis, qui a le grand mérite d'être très documenté et accessible à tous. C'est le résumé d'observations faites au cours de nombreux travaux. C'est la condensation en un volume des notes prises au jour le jour sur les résultats obtenus dans différentes installations, améliorations, transformations ou créations.

Les industriels y trouveront les indications utiles pour créer des usines répondant à la fois aux nécessités de leur fabrication et aux obligations de l'hygiène, dans lesquelles serait assuré le maximum possible de production et de sécurité, usines modernes, étudiées suivant les données scientifiques.

(1) In-8°, 245 × 155 de VIII-342 p., avec 105 fig. Paris, Ch. Béranger, 1906. Prix : relié, 15 francs.

C'est un ouvrage qui vient à son heure pour répondre aux prescriptions des lois nouvelles, aux nécessités d'une production plus intense.

L'auteur examine dans différents chapitres ce qui a trait à la construction des usines, aux forces motrices, aux transmissions d'énergie, à l'éclairage, à la sécurité du personnel dans les usines, au chauffage, à la ventilation et à l'humidification, avec des chapitres spéciaux pour les appareils de chauffage, les appareils de ventilation et d'humidification, et les canaux de distribution.

Il traite aussi de l'entretien des usines, des cités et maisons ouvrières, de l'enlèvement des poussières, vapeurs, gaz, buées, des appareils de séchage.

Il cite des applications et des exemples complets. Enfin il termine par des notes techniques sur la jurisprudence en matière de sécurité et d'hygiène industrielle.

C'est un ouvrage utile à posséder par les Industriels.

F. T. S.

L'Incendie, ses causes, sa prévention, son extinction, par Félicien Michotte, Ingénieur E. C. P., président du Comité technique contre l'Incendie (1).

C'est l'exposé complet, net et précis, par un Ingénieur distingué, de toutes nos connaissances actuelles en matière d'incendie, tant au point de vue préventif qu'à celui des premiers secours et de l'attaque, du fait des observations et études pratiques, jointes aux connaissances théoriques de l'auteur.

L'industriel connaitra exactement les dangers de son industrie, les moyens de les prévenir, d'en éviter le développement, par des moyens simples et peu coûteux. Il y trouvera également le moyen, en réduisant ses risques, de faire diminuer ses primes d'assurance de sérieuse façon, ainsi que les responsabilités qu'il encourt juridiquement, en raison de son exploitation et du fait même de son assurance. L'ingénieur et l'architecte trouveront dans ce volume toutes les notions nécessaires pour construire des bâtiments réellement *résistants au feu*.

Les Compagnies d'assurances y puiseront l'indication des mesures à recommander à leurs abonnés, aussi bien que celles actuellement imposées, mais que la pratique n'a nullement justifiées.

Les municipalités des villes et des villages, les corps élus, y trouveront tous renseignements leur permettant de prendre des mesures efficaces, au lieu des dispositions illusoires ou même dangereuses, souvent prescrites après une catastrophe.

Les pompiers posséderont, grâce à ce volume, une étude complète qui leur fera connaître le feu, ses dangers, ses divers moyens d'extinction, les risques présentés par les diverses constructions et les diverses industries, les produits chimiques, le gaz, l'électricité, dans toutes leurs applications, la valeur exacte des moyens et des mesures à recommander.

F. T. S.

(1) In-8°, $\frac{1}{2}55 \times 165$ de VI-563 p., avec 135 fig. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix : broché, 15 francs.

Étude sur les déformations des voies de chemin de fer et les moyens d'y remédier (1), par G. Cuenot, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Pour augmenter la solidité des voies ferrées en même temps que croît la vitesse des machines, il importe d'étudier soigneusement les déformations produites par le passage des trains rapides; on ne peut remédier au mal que si on en connait la cause.

M. Cuënot observant les effets du mouvement longitudinal et du mouvement transversal, a fait les remarques suivantes : la flexion de la traverse influe sur la tenue de la voie; le bourrage ne peut tenir que si la traverse a la longueur de flexion minimum; la pression se répartit à peu près uniformément sur le ballast et la plate-forme; la déformation du support est réduite et la voie descend parallèlement à elle-même; enfin chaque traverse reste par rapport aux voisines dans la situation qu'elle occupait dans la voie.

Les expériences et les conséquences déduites de ces considérations sont dues à l'emploi de traverses de types différents. La traverse mixte (bois et acier) a donné des résultats surprenants par sa rigidité, sa tenue dans la voie, la facilité de l'attache.

L'auteur fait suivre les considérations sur les déformations d'une étude sur les moyens d'y remédier.

Il conclut à l'emploi de traverses entièrement rigides; à la pose sur traverse au droit du joint, celle-ci étant suivie et précédée à 0.30 m de traverses également rigides, et à l'usage de selles renforcées.

M. Cuënot se propose de poursuivre ses recherches qui intéressent particulièrement les Ingénieurs des grandes Compagnies de Chemins de fer.

J. G.

IIIe SECTION

Des échappements des horloges, leur description, construction, réparation et procédés de réglage, *avec tables à l'appui, nombreux croquis et six portraits à l'usage principalement des horlogers, Ingénieurs techniciens et gens du métier*, par C. Dietzschold, Ingénieur-mécanicien, Directeur de l'École Impériale et Royale d'horlogerie Autrichienne, chevalier de l'ordre de François-Joseph, membre d'honneur de la Corporation des horlogers de Budapest et de l'Association des Horlogers hongrois (1).

L'ouvrage de M. C. Dietzschold traite en grands détails des échappements employés en horlogerie. Il donne, avec croquis à l'appui, d'utiles et intéressants renseignements sur les conditions d'établissement et de construction, ainsi que sur le réglage. Des tables nombreuses fournis-

(1) In-8°, 230 × 150 de 219 p., avec atlas 315 × 215 de 21 pl. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix, broché, 12 francs.

(1) In-8°, 230 × 150 de x-234 p. avec 84 fig. Paris, Krems a Donau Nied, Osterr. C. Dietzchold.

sent aux horlogers des données précises qui leur permettent de trouver facilement les meilleures dispositions à adopter pour la construction de leurs échappements tant pour les pièces à balancier circulaires que pour celles à pendules.

Quoique M. Dietzschold donne plus particulièrement des renseignements sur les types des échappements employés en Autriche-Hongrie et en Allemagne, il décrit en détail les échappements à ancre de Graham et l'échappement libre de Denison.

Les artistes français sont à peine cités. Cependant les beaux travaux des Pierre Leroy, des Berthoud, des Lepaute, etc., méritaient de ne pas être oubliés, non plus que l'échappement à chevilles qui dans un grand nombre des plus belles pendules et horloges construites en France est aussi souvent adopté et avec autant de succès que l'échappement à ancre de Graham.

Le traité de M. Dietzschold est d'une grande utilité pour les constructeurs d'horlogerie. Mais ceux qui désireraient trouver des détails théoriques et pratiques plus complets sur les échappements devront consulter le beau traité d'horlogerie de feu Claudius Saunier.

Quoique datant d'une trentaine d'années, cet ouvrage renferme le traité peut-être le plus complet qui ait été fait sur les échappements.

Ces observations, qui ne diminuent en aucune façon l'intérêt de l'œuvre de M. Dietzschold, nous ont été suscitées par le désir de rendre hommage à la mémoire d'artistes qui sont des gloires pour l'horlogerie.

L. H.-L.

Vᵉ SECTION

La Céramique industrielle, par M. Albert Granger, professeur de chimie et technologie céramique à l'Ecole d'application de la Manufacture Nationale de Sèvres (1).

Le livre de M. Granger se distingue tout spécialement par son ordonnance parfaite : le classement des chapitres est très méthodiquement établi. L'auteur s'est appliqué à séparer les renseignements techniques généraux communs à l'ensemble des fabrications céramiques. Puis il a très largement traité en chapitres distincts les diverses fabrications. Il ne s'est pas attardé, comme d'autres auteurs, à des descriptions oiseuses d'appareils souvent archaïques et il a évité l'écueil commun à beaucoup de publications de ce genre de constituer de véritables recueils de catalogues de constructeurs.

L'auteur s'est borné à des indications sommaires mais précises, et a surtout cherché à mettre en lumière les éléments scientifiques nouveaux qui ont, en ces dernières années, apporté à l'industrie céramique des perfectionnements tant dans les moyens chimiques d'étude que dans les moyens d'exécution.

(1) In-8°, 220 × 130 de x-644 p. avec 179 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1905. Prix : relié, 17 f.

C'est ainsi qu'il a largement traité et très clairement développé les questions relatives aux fusibilités, aux dilatations, aux nouvelles méthodes de mesure des températures. Une partie très intéressante de l'ouvrage a trait aux nouveaux fours continus qui, depuis quelques années, sont employés dans plusieurs fabriques de faïence, de grès et de porcelaine. — toutefois. nous formulons le regret que cette partie du livre de M. Granger ne soit pas plus développée.

Pour nous résumer, le traité de M. Granger constitue une documentation parfaitement ordonnée dans laquelle les Ingénieurs et les fabricants pourront largement puiser des enseignements très précieux.

R. DE BLOTTEFIÈRE.

VI^e SECTION

Manuel de la fabrication des accumulateurs (1), par F. GRÜNWALD.

Ce petit volume donne des détails pratiques sur les procédés de construction et d'utilisation employés en Allemagne pour les accumulateurs au plomb.

Le traducteur y a ajouté la description de quelques appareils de construction française destinés au couplage des éléments ou des batteries ainsi qu'une série de schémas qui peuvent servir de guides dans les cas les plus usuels.

A. L.

Four électrique à marche continue pour fabrication du verre, par M. SAUVAGEON. Directeur de verrerie (1).

L'intéressante brochure de M. Sauvageon sur la fabrication continue du verre dans le four électrique. emprunte son principal intérêt à la compétence spéciale en verrerie de son distingué auteur, ex-directeur des verreries d'Aniche.

Il est désirable que la pratique apporte bientôt sa sanction, d'une part aux avantages des dispositifs présentés, d'autre part aux méthodes de travail envisagées, et enfin aux calculs économiques qui constituent en quelque sorte les conclusions de la brochure.

Nous espérons que dans un avenir prochain les résultats effectifs d'essais pratiques pourront nous être présentés.

E. D.

(1) In-18, 190 × 120 de XII-248 p. avec 94 fig. Paris, H. Desforges, 1906. Prix : broché, 5 francs.

(1) In-8°, 255 × 165 de 23 p., avec 3 pl. Paris, Vve Ch. Dunod. Prix : broché, 2 fr. 50.

LISTE

DES

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

REÇUES PAR LA SOCIÉTÉ DES

INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

AU

1er JANVIER

1906

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
EN FRANÇAIS	
Académie des Sciences (Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l')	52
Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand (Mémoires de l')	1
Actualités Scientifiques	1
Aéronaute (L')	12
Aérophile (L')	12
Almanach Hachette	1
Analyse des Eaux prélevées par le Laboratoire Municipal	52
Annales de la Construction (Nouvelles)	12
Annales des Chemins Vicinaux	12
Annales des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Contrôleurs des Mines	24
Annales des Mines	12
Annales des Mines de Belgique (Bruxelles)	4
Annales des Ponts et Chaussées. Partie Administrative	12
Annales des Ponts et Chaussées. Partie Technique	4
Annales des Travaux Publics de Belgique	6
Annales du Commerce Extérieur	12
Annales du Ministère de l'Agriculture. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations Agricoles	1
Année Scientifique et Industrielle (L')	1
Année Technique (L')	1
Annuaire-Almanach du Commerce, de l'Industrie, etc. (Didot-Bottin)	1
Annuaire-Chaix. Les Principales Sociétés par Actions	1
Annuaire d'Adresses des Fonctionnaires du Ministère des Travaux Publics	1
Annuaire de l'Administration des Postes et des Télégraphes de France	1
Annuaire de la Librairie Française	1
Annuaire de la Presse Française et du Monde Politique	1
Annuaire des Journaux	1
Annuaire des Longitudes	1
Annuaire du Bâtiment (Sageret)	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS PAR AN
Annuaire du Ministère des Travaux Publics	1
Annuaire Général de l'Automobile et des Industries qui s'y rattachent	1
Annuaire Général des Sociétés Françaises par Actions (Cotées et non Cotées) et des Principales Sociétés Étrangères	1
Annuaire Marchal des Chemins de Fer et des Tramways	1
Annuaire Statistique de la France	1
Annuaire Statistique de la Ville de Paris	1
Architecture (L'), Journal Hebdomadaire de la Société Centrale des Architectes Français	52
Association Alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Section Française)	1
Association Amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale (Bulletin de l')	12
Association Amicale des Élèves de l'École Nationale Supérieure des Mines (Bulletin Mensuel de l')	12
Associations de Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Compte Rendu des Séances des Congrès des Ingénieurs en Chef des)	1
Association des Anciens Élèves et Élèves de l'Institut Électrotechnique de Grenoble (Bulletin de l') (La Houille blanche)	1
Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie de France et des Colonies (Bulletin de l')	12
Association des Industriels de France contre les Accidents du Travail. Bulletin Bimestriel	6
Association des Ingénieurs-Conseils en Matière de Propriété Industrielle (Bulletin de l')	1
Association des Ingénieurs Électriciens sortis de l'Institut Électro-Technique Montefiore (Bulletin de l')	12
Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Annuaire de l')	5
Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Bulletin de l')	4
Association des Ingénieurs sortis des Écoles Spéciales de Gand (Annales de l')	4
Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur du Nord de la France. Bulletin	1
Association Française pour l'Avancement des Sciences. (Bulletin Mensuel de l')	10
Association Française pour l'Avancement des Sciences. Comptes Rendus des Sessions	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Association Française pour la Protection de la Propriété Industrielle (Bulletin de l')	1
Association Internationale des Méthodes d'Essais des Matériaux de Construction (Réunion des Membres Français et Belges de l') (Paris)	12
Association Internationale pour la Protection de la Propriété Industrielle (Annuaire de l')	1
Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à Vapeur	1
Association Normande pour prévenir les Accidents du Travail (Bulletin de l')	1
Association Parisienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur. Bulletin Annuel	1
Association Polytechnique (Bulletin Mensuel de l')	12
Association Technique Maritime (Bulletin de l')	1
Béton Armé (Le)	12
Bibliographie de la France. Journal Général de l'Imprimerie et de la Librairie	52
Bibliographie des Sciences et de l'Industrie	12
Bulletin des Constructeurs	52
Bulletin des Transports Internationaux par Chemins de Fer (Berne)	12
Bulletin Historique et Scientifique de l'Auvergne	12
Bulletin International de l'Électricité et Journal de l'Électricité réunis	24
Bulletin Municipal Officiel de la Ville de Paris	365
Bulletin Technique. Publié sous les auspices de l'Association des Ingénieurs de l'Institut Industriel du Nord de la France (Valenciennes)	12
Bulletin Technique de la Suisse Romande. Organe en Langue Française de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes (Lausanne)	24
Bureau International des Poids et Mesures (Travaux et Mémoires du)	?
Capitaliste (Le)	52
Chambres de Commerce (Le Journal des)	24
Chambre de Commerce de Dunkerque (Procès-verbaux des Séances de la)	12
Chambre de Commerce de Dunkerque (Statistique Mensuelle de la)	12
Chambre de Commerce de Paris (Bulletin de la)	52
Chambre de Commerce de Paris (Compte Rendu des Travaux de la)	1
Chambre de Commerce de Rouen (Compte Rendu des Travaux de la)	1
Chambre de Commerce Française d'Alexandrie (Bulletin de la)	12

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Chambre de Commerce Française de Portugal (Bulletin de la)	12
Chambre des Propriétaires (La). Bulletin de la Chambre Syndicale des Propriétés Immobilières de la Ville de Paris	24
Chambre Syndicale des Constructeurs de Machines Agricoles de France	12
Chambre Syndicale des Propriétés Immobilières de la Ville de Paris (Annuaire).	1
Chauffeur (Le). 4e Série du Technologiste	24
Chemin de Fer du Nord. Rapport présenté par le Conseil d'Administration	1
Chemins de Fer, Postes, Télégraphes. Téléphones et Marine du Royaume de Belgique. Compte Rendu des Opérations	1
Ciment (Le)	12
Comité Central des Houillères de France (Annuaire du)	1
Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe	1
Comité de l'Afrique Française (Bulletin du)	12
Comité des Forges de France (Annuaire du)	1
Comité des Forges de France (Bulletin du)	?
Comité des Forges de France (Circulaires)	?
Commission Scientifique de Perfectionnement de l'Observatoire Municipal de Montsouris	1
Compagnie Générale des Voitures à Paris. Rapport du Conseil d'Administration	1
Congrès International des Chemins de Fer (Bulletin du).	12
Congrès des Sociétés Savantes. Discours prononcés à la Séance du Congrès	1
Congrès des Sociétés Savantes. Programme du Congrès	1
Congrès International des Accidents du Travail et des Assurances Sociales (Bulletin du Comité Permanent du)	4
Conseil d'Hygiène Publique et de Salubrité du Département de la Seine (Compte Rendu des Séances du).	26
Conseil Supérieur du Travail	1
Conservatoire National des Arts et Métiers. Rapport général du Conseil d'Administration	1
Construction Moderne (La)	52
Cosmos (Le)	52
Cycle et Automobile Industriels	52
Écho des Mines et de la Métallurgie (L').	104
Éclairage Électrique (L'). Revue Hebdomadaire des Transformations Électriques, Mécaniques, Thermiques de l'Énergie	52

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
École Centrale des Arts et Manufactures. Portefeuille des Travaux de Vacances des Élèves	1
École Nationale des Ponts et Chaussées. Collection de Dessins distribués aux Élèves. Légendes Explicatives des Planches	»
École Nationale des Ponts et Chaussées (Voir : Annales des Ponts et Chaussées)	»
École Nationale Supérieure des Mines (Voir : Annales des Mines)	»
École Spéciale d'Architecture. Concours de Sortie	1
École Spéciale d'Architecture. Séance d'Ouverture	1
École Spéciale de Travaux Publics (Voir : L'Ingénieur-Constructeur de Travaux Publics)	»
Économiste Français (L')	52
Électricien (L')	52
Electrochimie (L')	12
France Automobile (La)	52
Génie Civil (Le)	52
Glace et les Industries du Froid (La)	12
Globe Trotter (Le)	52
Houille Blanche (La) Revue générale des Forces Hydro-Électriques et de leurs Applications	12
Industrie Électrique (L')	24
Ingénieur-Constructeur de Travaux Publics (L') Revue trimestrielle. Organe Officiel de l'Association Amicale des Élèves et anciens Élèves de l'École Spéciale de Travaux Publics	4
Inspection du Travail (Bulletin de l')	6
Institut des Actuaires Français (Bulletin de l')	4
Institut Égyptien (Bulletin de l')	8
Inventions Illustrées (Les)	52
Journal Amusant (Le)	52
Journal d'Agriculture Pratique	52
Journal de l'Éclairage au Gaz et à l'Électricité	24
Journal de l'Électrolyse	24
Journal de la Meunerie	12
Journal des Chemins de Fer	52
Journal des Fabricants de Sucre	52

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Journal des Transports	52
Journal des Travaux Publics	104
Journal des Usines à Gaz	24
Journal du Pétrole et des Industries qui s'y rattachent	36
Journal Officiel	365
Journal Spécial des Sociétés Françaises par Actions	104
Journal Technique et Industriel	24
Journal Télégraphique (Berne)	12
Laboratoire d'Essais Mécaniques, Physiques, Chimiques et de Machines du Conservatoire National des Arts et Métiers (Bulletin du)	?
Locomotion Automobile (La)	52
Marine Française (La)	12
Matériaux de Construction (Les) (Stuttgart)	24
Mémorial du Génie Maritime	2
Métallurgie et la Construction Mécanique (La)	52
Mois Chimique et Électro-Chimique (Le)	12
Mois Minier et Métallurgique (Le)	12
Mois Scientifique et Industriel. Revue Internationale d'Informations	12
Monde Illustré (Le)	52
Moniteur de l'Entreprise et de l'Industrie (Organe Officiel des Chambres Syndicales de la Ville de Paris et du Département de la Seine)	52
Moniteur de l'Industrie et de la Construction et Bulletin de la Classe d'Industrie et de Commerce de la Société des Arts de Genève	24
Moniteur de la Céramique, de la Verrerie, etc.	24
Moniteur de la Papeterie Française et de l'Industrie du Papier (Le)	24
Moniteur des Fils et Tissus	52
Moniteur des Intérêts Matériels	156
Moniteur Officiel du Commerce	52
Moniteur Scientifique du Docteur Quesneville	12
Mouvement Industriel et les Brevets Français (Le)	46
Musée Social (Annales)	12
Musée Social (Mémoires et Documents)	12
Nature (La)	52
Observatoire de Nice (Annales de l')	?
Observatoire Météorologique, Physique et Glaciaire du Mont-Blanc (Annales de l')	?

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS PAR AN.
Office Colonial (Feuille de Renseignements de l')	12
Office du Travail (Bulletin de l')	12
Office National du Commerce Extérieur. Extrait des Rapports. Pièces Annexes	1
Papier (Le)	24
Paris-Hachette. Annuaire Complet, Commercial, Administratif et Mondain.	1
Portefeuille Économique des Machines	12
Publications Nouvelles de la Librairie Gauthier-Villars (Bulletin des)	4
Questions Diplomatiques et Coloniales. Revue de Politique Extérieure	24
Quinzaine Coloniale (La). Organe de l'Union Coloniale Française	24
Radium (Le). La Radioactivité et les Radiations; les Sciences qui s'y rattachent et leurs Applications	12
Rapports Commerciaux des Agents Diplomatiques et Consulaires de France (Annexe au Moniteur Officiel du Commerce)	52
Rapports sur l'Application des Lois réglementant le Travail	1
Recueils Statistiques sur les Métaux suivants : Plomb, Cuivre, Zinc, Étain, Argent, Nickel, Aluminium et Mercure, établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgische Gesellschaft A. G. (Francfort-sur-Mein)	1
Réforme Économique (La)	46
Réforme Sociale (La)	24
Régence de Tunis. Bulletin de la Direction de l'Agriculture et du Commerce.	4
Répertoire des Industries, Gaz et Électricité	1
Répertoire du Journal Officiel de la République Française	12
Répertoire général de Chimie Pure et Appliquée	24
Répertoire général des Fournisseurs de l'Armée, de la Marine et des Travaux Publics	1
Revue Bleue	52
Revue Coloniale	12
Revue d'Artillerie	12
Revue d'Hygiène Publique et de Police Sanitaire	12
Revue de Chimie Industrielle et Revue de Physique et de Chimie et de leurs Applications Industrielles	12
Revue de l'Ingénieur et Index Technique	12
Revue de Législation des Mines en France et en Belgique	6
Revue de Madagascar. Organe du Comité de Madagascar	12
Revue de Mécanique	12

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Revue de Métallurgie	12
Revue du Génie Militaire	12
Revue Électrique (La)	24
Revue Française de Construction Automobile	12
Revue Générale de Chimie Pure et Appliquée	24
Revue Générale de l'Acétylène	24
Revue Générale de la Marine Marchande	52
Revue Générale des Chemins de Fer et des Tramways	12
Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées	24
Revue Horticole	24
Revue Industrielle	52
Revue Maritime	12
Revue Minéralurgique (La), Mines, Métallurgie, Travaux Publics	12
Revue Philomathique de Bordeaux et du Sud-Ouest	12
Revue Scientifique	52
Revue Technique, Annales des Travaux Publics et des Chemins de Fer	24
Revue Universelle des Mines, de la Métallurgie, des Travaux Publics, des Sciences et des Arts appliqués à l'Industrie	12
Semaine Financière (La)	52
Société Académique d'Agriculture, des Sciences, Arts et Belles-Lettres du Département de l'Aube (Mémoires de la)	1
Société Anonyme du Canal et des Installations Maritimes de Bruxelles. Rapport du Conseil d'Administration	1
Société Astronomique de France (Bulletin de la)	12
Société Belge d'Électriciens (Bulletin de la)	12
Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie (Bulletin de la)	6
Société Belge des Ingénieurs et des Industriels (Liste des Membres)	1
Société Belge des Ingénieurs et des Industriels. Rapport Annuel	1
Société d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon (Annales de la)	4
Société d'Économie Politique (Bulletin de la)	1
Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Bulletin de la)	12
Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. Compte Rendu bi-Mensuel des Séances	24
Société de Géographie Commerciale de Bordeaux (Bulletin de la)	24
Société de Géographie Commerciale de Paris (Bulletin de la)	12

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Société de Géographie de l'Est (Bulletin de la)	4
Société de l'Industrie Minérale (Bulletin de la)	4
Société de l'Industrie Minérale (Compte Rendu Mensuel des Réunions de la)	12
Société de Protection des Apprentis (Bulletin de la)	4
Société de Secours des Amis des Sciences. Compte Rendu de l'Exercice	1
Société des Agriculteurs de France (Bulletin de la)	24
Société des Agriculteurs de France. Comptes Rendus des Travaux de la Session Générale Annuelle	1
Société des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers. Bulletin Technologique	12
Société des Études Coloniales et Maritimes (Bulletin de la)	12
Société des Ingénieurs sortis de l'École Provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut (Bulletin de la) (Liège)	2
Société des Ingénieurs sortis de l'École Provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut (Publications de la) (Liège)	4
Société Forestière Française des Amis des Arbres (Bulletin de la)	4
Société Française de Minéralogie (Bulletin de la)	12
Société Française de Photographie (Bulletin de la)	24
Société Française de Physique. Compte Rendu	24
Société Française de Physique (Séances de la)	4
Société Française des Ingénieurs Coloniaux (Bulletin de la)	4
Société Géologique de France (Bulletin de la)	6
Société Industrielle de l'Est (Bulletin de la)	1
Société Industrielle de Mulhouse (Bulletin de la)	12
Société Industrielle de Mulhouse. Programme des Prix	1
Société Industrielle de Reims (Bulletin de la)	1
Société Industrielle de Reims. Informations et Renseignements Commerciaux.	12
Société Industrielle de Rouen (Bulletin de la)	6
Société Industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne (Bulletin de la)	1
Société Industrielle du Nord de la France (Bulletin de la)	4
Société Internationale des Électriciens (Bulletin de la)	12
Société Nationale d'Agriculture de France (Bulletin des Séances de la)	12
Société Nationale d'Agriculture de France. (Mémoires publiés par la). Séance Publique Annuelle	1
Société Scientifique Industrielle de Marseille (Bulletin de la)	4

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Société Technique de l'Industrie du Gaz en France. Compte Rendu du Congrès	1
Société Vaudoise des Sciences Naturelles (Bulletin de la)	2
Spelunca. Bulletins et Mémoires de la Société de Spéléologie	4
Statistique Annuelle des Institutions d'Assistance	1
Statistique Annuelle du Mouvement de la Population	1
Statistique de l'Industrie Minérale et des Appareils à Vapeur en France et en Algérie	1
Statistique de la Navigation Intérieure	1
Statistique des Chemins de Fer Français (Documents Divers. 1re Partie)	1
Statistique des Chemins de Fer Français (Documents Divers, 2e Partie)	1
Statistique des Chemins de Fer Français (Documents Principaux)	1
Statistique des Grèves et des Recours à la Conciliation et à l'Arbitrage	1
Statistique des Houillères en France et en Belgique	1
Statistique Générale de la France	1
Sucrerie Indigène et Coloniale (La)	52
Syndicat des Entrepreneurs de Travaux Publics de France (Annales du)	24
Syndicat des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs de Paris. Bulletin.	12
Syndicat Professionnel des Industries Électriques. Recueil Mensuel des Procès-Verbaux des Séances de la Chambre	12
Syndicats Professionnels, Industriels, Commerciaux et Agricoles (Annuaire des)	1
Tableau Général du Commerce et de la Navigation	1
I. Commerce (Commerce de la France avec ses Colonies et les Puissances Étrangères).	
II. Navigation (Navigation Internationale. Cabotage Français et Effectif de la Marine Marchande).	
Technique Sanitaire (La) Revue de l'Art de l'Ingénieur et de l'Hygiéniste Municipal	12
Technique Sanitaire (La) Revue de l'Art de l'Ingénieur et de l'Hygiéniste Municipal (Supplément)	24
Touring-Club de France (Revue Mensuelle du)	12
Tout-Paris. Annuaire de la Société Parisienne	1
Travaux Publics (Les). Journal Mensuel traitant de la Pratique de l'Art de Construire. Portefeuille de l'Association des Personnels de Travaux Publics.	12
Travaux Techniques des Officiers du Génie de l'Armée Belge (Recueil des) (Ixelles)	?

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS PAR AN
Tribune des Travaux Publics (La). Bulletin de la Société des Ingénieurs Auxiliaires, Sous-Ingénieurs, Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées, des Mines, des Chemins de fer et de l'Hydraulique Agricole . .	36
Union des Ingénieurs sortis des Écoles Spéciales de Louvain. Bulletin et Mémoires.	4
Union Géographique du Nord de la France (Bulletin de l')	4
Université de Liège. Association des Elèves des Écoles Spéciales. Bulletin Scientifique.	12
Université de Liège. Association des Élèves des Écoles Spéciales. Rapport Annuel	1
Université Libre de Bruxelles. Rapport sur l'Année Académique	1
Usines Électriques (Bulletin des). Organe du Syndicat Professionnel des Usines d'Électricité	24
Yacht (Le), Journal de la Marine	52
Yachting Gazette. Journal de la Navigation de Plaisance	52
EN ALLEMAND	
Akademie der Wissenschaften (Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen) (Wien)	6
Annalen für Gewerbe- und Bauwesen (Berlin)	24
Architektur- und Ingenieurwesen (Zeitschrift für) (Hannover)	8
Baumaterialienkunde (Stuttgart)	24
Berg-Hütten-und Salinenwesen im preussischen Staate (Zeitschrift für das) (Berlin)	6
Dampfkessel-und Maschinenbetrieb (Zeitschrift für) (Berlin)	52
Elektrotechnik und Maschinenbau. Organ des Elektrotechnischen Vereines in Wien	52
Elektrische Bahnen und Betriebe. Zeitschrift für Werkehrs- und Transportwesen (München)	36
Elektrotechnische Zeitschrift (Centralblatt für Elektrotechnik) Organ der Elektrotechnischen Vereins und der Verbandes Deutscher Elektrotechniker (Berlin)	52
Gesamte Turbinenwesen (Zeitschrift für das) (München)	36

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Gesellschaft Ehemaliger Studierender der Eidg. Polytechnischen Schule in Zürich (Bulletin der)	1
Glückauf. Berg-und Huttenmännische Zeitschrift (Essen)	52
Maschinen-Konstrukteur (Der praktische) (Leipzig)	26
Metallurgie. Zeitschrift für die gesamte metallurgische Technik (Halle)	24
Niederösterreichischen Gewerbe-Vereins (Wochenschrift des) (Wien)	52
Österreichische Eisenbahn-Zeitung (Wien)	36
Österreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen (Wien)	52
Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines (Zeitschrift des) (Wien)	52
Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Wiesbaden)	12
Repertorium der Technischen Journal-Literatur (Berlin)	1
Schweizerische Bauzeitung (Zürich)	52
Stahl und Eisen. Zeitschrift für das Deutsche Eisenhüttenwesen (Düsseldorf)	24
Turbine (Die) Zeitschrift für modernen Schnellbetrieb, für Dampfgas-Wind und Wasserturbinen (Berlin)	12
Vereines Deutscher Ingenieure (Zeitschrift des) (Berlin)	52
Vereines für die Förderung des Local-und Strassenbahnwesens (Mittheilungen des) (Wien)	12
Zeitschrift für Bauwesen (Berlin)	4
Zentralblatt der Bauverwaltung (Berlin)	104
EN ANGLAIS	
American Academy of Arts and Sciences (Proceedings of the) (Boston)	24
American Engineer and Railroad Journal (New-York)	12
American Institute of Electrical Engineers (Transactions of the) (New-York)	12
American Institute of Mining Engineers (By-Monthly Bulletin of the) (Philadelphia)	6
American Institute of Mining Engineers (Transactions of the) (New-York)	1
American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (Proceedings of the Annual Convention of the) (Chicago)	1
American Railway Master Mechanics' Association (Report of the Proceedings of the Annual Convention of the) (Chicago)	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
American Society of Civil Engineers (Proceedings of the) (New-York)	12
American Society of Civil Engineers (Transactions of the) (New-York)	2
American Society of Mechanical Engineers (Transactions of the) (New-York)	1
American Society of Naval Engineers (Journal of the) (Washington)	4
Association of Engineering Societies (Journal of the) (Philadelphia)	12
Australasian Institute of Mining Engineers (Transactions of the) (Melbourne)	2
Autocar (The) (London)	52
Automotor Journal (The) (London)	52
Boston Society of Civil Engineers. Constitution and By-Laws and List of Members	1
Boston Transit Commission (Annual Report of the) (Boston)	1
Bureau of Steam Engineering (Annual Report of the Chief of) (Washington)	1
Canadian Institute (Proceedings of the) (Toronto)	2
Canadian Institute (Transactions of the) (Toronto)	2
Canadian Society of Civil Engineers (Transactions of the) (Montreal)	2
Cassier's Magazine (London)	12
Chinese Lighthouses (List of the) (China)	1
Colliery Guardian (The). Journal of the Coal and Iron Trades. (London)	52
Cornell University Register (The) (Ithaca)	1
Electrical Engineer (The) (London)	52
Electrical Review (New-York)	52
Electrical World and Engineer (New-York)	52
Engineer (The) London	52
Engineering (London)	52
Engineering and Mining Journal (The) (New-York)	52
Engineering Magazine (The) (New-York)	12
Engineering News (New-York)	52
Engineering Record (The) (New-York)	52
Engineering Review (The) (London)	12
Engineering Society of the School of Practical Science (Transactions of the) (Toronto)	1
Engineers' Club of Philadelphia (Proceedings of the) (Philadelphia)	4
Franklin Institute (Journal of the) (Philadelphia)	12
Indian Engineering (Calcutta)	52
Institute of Marine Engineers (Annual Volume of Transactions of the) (London)	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMEROS par an
Institution of Civil Engineers (Minutes of Proceedings of the) (London)	4
Institution of Civil Engineers. Private Press. (London)	24
Institution of Electrical Engineers (Journal of the) (London)	6
Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland (Transactions of the) (Glasgow)	1
Institution of Mechanical Engineers (Proceedings of the) (London)	4
Institution of Mining and Metallurgy (Transactions of the) (London)	1
Institution of Naval Architects (Transactions of the) (London)	1
Iron Age (The) (New-York)	52
Iron and Coal Trades Review (The) (London)	52
Iron and Steel Institute (Journal of the) (London)	2
Iron and Steel Magazine (The) (Boston)	12
John Crerar Library (Annual Report of the) (Chicago)	1
Junior Institution of Engineers (The) (Record of Transactions) (London)	1
Mac Gill College and University (Annual Calendar of) (Montreal)	1
Manchester Steam User's Association (The) (Manchester)	1
Master Car Builders' Association (Chicago)	1
Midland Institute of Mining, Civil and Mechanical Engineers (Transactions of the) (Barnsley)	4
Mineral Industry, its Statistics, Technology and Trades in the United States and other Countries (The) (New-York)	1
Mining Magazine (New York)	12
North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders (Transactions of the) (Newcastle-Upon-Tyne)	1
North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. Subject-Matter Index of Mining Mechanical and Metallurgical Literature (Newcastle-Upon-Tyne)	1
North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers (Transactions of the) (Newcastle-Upon-Tyne)	4
Nova Scotian Institute of Science (Proceedings and Transactions of the) (Halifax. Nova Scotia)	1
Publications of the Earthquake Investigation Committee in foreign Languages (Tokyo)	2
Public Works (London)	4
Railway Age (The) (Chicago)	52

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Railway Engineer (London)	12
Railway Gazette (London, New-York, Chicago)	52
Railway Machinery (New-York City)	12
Report of the Board of Rapid Transit Railroad Commissioners of the City of New-York	1
Report on the Subsidized Railways and other Public Works in the Province of Nova Scotia (Halifax)	1
Revenue Report of the Government of Bengal, Public Works Department, Irrigation Branch (Calcutta)	1
Scientific American (New-York)	52
Shanghaï Society of Engineers and Architects. Proceedings (Shanghaï)	1
Smithsonian Institution (Annual Report of the Board of Regents of) (Washington)	1
Society of Arts (Journal of the) (London)	52
Society of Engineers. Transactions. (London)	1
Street Department of City of Boston (Annual Report of the)	1
Street Railway Journal (The) (New-York)	52
United States Artillery (Journal of the) (Fort Monroe. Virginia)	6
United States Coast Geodetic Survey (Report of the Superintendent of the) (Washington)	1
United States Geological Survey (Annual Report of the) (Washington)	1
United States Naval Institute (Proceedings of the) (Annapolis)	4
Universal Directory of Railways Officials (The) (London)	1
University of the State of New-York (New-York State Museum. Annual Report of the Regents) (Albany)	1
University of the State of New-York. New-York State Museum. Bulletin (Albany)	12
War Department (Annual Reports of the) (Report of the Chief of Engineers) (Washington)	1
Western Society of Engineers (Journal of the) (Chicago)	6
EN BULGARE	
Sedmitchene Liste na Belgharskoto Injeniérno Arkhitektno Droujestvo ve Sofiya	52
Spisanie na Belgharskoto Injeniérno Arkhitektno Droujestvo ve Sofiya	6

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS

EN DANOIS

Ingenioren (Kjobenhavn). . . . . .

EN ESPAGNOL

Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (Boletin de la Real) (Barcelona) .
Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (Memorias de la Real) (Barcelona)
Anales de la Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas (Mexico). . . .
Anuario de la Mineria, Metallurgia y Electricidad de España (Madrid) . . .
Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México (Anales de la) (México) . .
Boletin de la Secretaria de Fomento (México) . . . . . .
Boletin de Minas Industria y Construcciones (Lima) . . . . . .
Boletin del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Peru . . . . . .
Boletin Industrial. Organo Oficial de la Asociación de Ingenieros Industriales (Madrid) . . . . . .
Industria é Invenciones (Barcelona) . . . . . .
Ingenieria (La) Organo Official del Centro Nacional de Ingenieros (Buenos-Aires)
Instituto de Ingenieros de Chile (Santiago) . . . . . .
Instituto Geológico de Mexico (Boletin del). . . . . .
Instituto Geológico de Mexico (Paregones del) . . . . . .
Junta de Obras del Puerto de Bilbao. . . . . .
Museo Nacional de Montevideo (Anales del). . . . . .
Observatorio Meteorológico Central de México (Boletin Mensual del) . . . . .
Revista de Obras Públicas (Madrid) . . . . . .
Revista Minera Metalúrgica y de Ingenieria (Madrid). . . . . .
Revista Tecnica (Buenos-Aires). . . . . .
Revista Tecnológico Industrial. Publicación Mensual de la Asociación de Ingenieros Industriales. Agrupación de Barcelona . . . . . .
Sociedad Cientifica « Antonio Alzate » (Memorias y Revista de la) (México) .
Sociedad Cientifica Argentina (Anales de la) (Buenos-Aires) . . . . . .
Sociedad Colombiana de Ingenieros (Anales de Ingenieria et Organo de la) (Bogóta). . . . . .
Sociedad de Fomento Fabril (Boletin de la) (Santiago). . . . . .

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS parus
EN HOLLANDAIS	
Ingenieur (De) (Orgaan van het Kon. Instituut van Ingenieurs. — Van de Vereeniging van Delftsche Ingenieurs) (La Haye)	52
Koninklijk Instituut van Ingenieurs (Tidjschrift van het) (Verhandelingen) (La Haye)	2
EN HONGROIS	
Magyar Mérnök-és Épitész-Egylet (A). (Heti Értesitöje) (Budapest)	40
Magyar Mérnök-és Épitész-Egylet (A). (Közlönye) (Budapest)	12
EN ITALIEN	
Accademia dei Lincei (Atti della Reale). Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti. (Roma)	24
Accademia dei Lincei (Atti della Reale). Rendiconto dell' Adunanza Solenne (Roma)	1
Associazione Elettrotecnica Italiana (Atti della) (Roma)	6
Associazione fra gli Utenti di Caldaie a Vapore (Milano)	1
Collegio degli Ingegneri ed Architetti della Sardegna (Bollettino del)	4
Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Napoli (Bollettino del)	24
Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Palermo (Atti del)	2
Collegio Toscano degli Ingegneri ed Architetti (Atti del) (Firenze)	2
Giornale del Genio Civile (Roma)	12
Industria (L') (Milano)	52
Istituto d'Incoraggiamento (Atti del Reale) (Napoli)	1
Monitore Tecnico (Il) (Milano)	36
Politecnico (Il) (Milano)	12
Rivista di Artiglieria e Genio (Roma)	12
Scuola d'Applicazione pergl'Ingegneri in Roma. Annuario	1

DÉSIGNATIONS DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS par an
Scuola d'Applicazione pergl'Ingegneri in Roma. Programmi d'Insegnamento.	1
Società degl'Ingegneri, Architetti ed Industriali in Napoli (Processa Verbale della Tornata)	24
Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino (Atti della)	1
Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Annali della) (Roma)	6
Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Bollettino della) (Roma)	52
EN NORVÉGIEN	
Teknisk Ugeblad (Kristiania)	52
EN POLONAIS	
Przeglad Techniczny (Warszawa).	52
EN PORTUGAIS	
Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto	1
Observatorio do Rio de Janeiro (Annuario publicado pelo).	1
Observatorio do Rio de Janeiro (Boletim Mensal do).	2
Revista de Obras Publicas e Minas (Associação dos Engenheiros Civis Portuguezes) (Lisboa)	6
Rivista Militar (Rio de Janeiro).	10
EN RUSSE	
Elektritchestvo (Saint-Pétersbourg)	24
Elektrotekhnitcheskii Viestnike (Saint-Pétersbourg)	24

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	NOMBRE DE NUMÉROS
Ghornyi Journale (Saint-Pétersbourg)	12
Imperatorskagho Rousskagho Technitcheskagho Obchtchestva (Zapiski) (Saint-Pétersbourg)	12
Sobraniya Injéniérove Poutéi Soobchtchéniya (Izviéstiya) (Saint-Pétersbourg) .	12
EN SUÉDOIS	
Teknisk-Tidskrift (Svenska Teknologföreningen) (Stockholm)	52
EN TCHÈQUE	
Spolku Architektův a Inženýrů v Královstvi Ceském (Zprávy) (Praze) (Architektonicky Obzor. — Technicky Obzor)	52

Le Secrétaire Administratif, Gérant,

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 418-1-06 — (Encre Lorilleux).

Fig.10. Coupe longitudinale (Carmania)

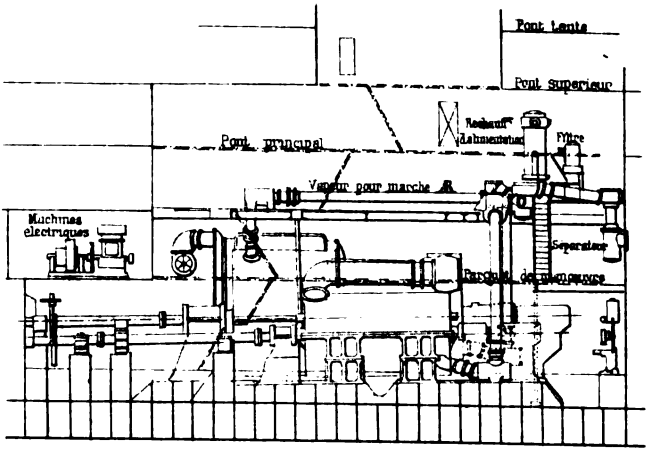


Fig.11. Plan.

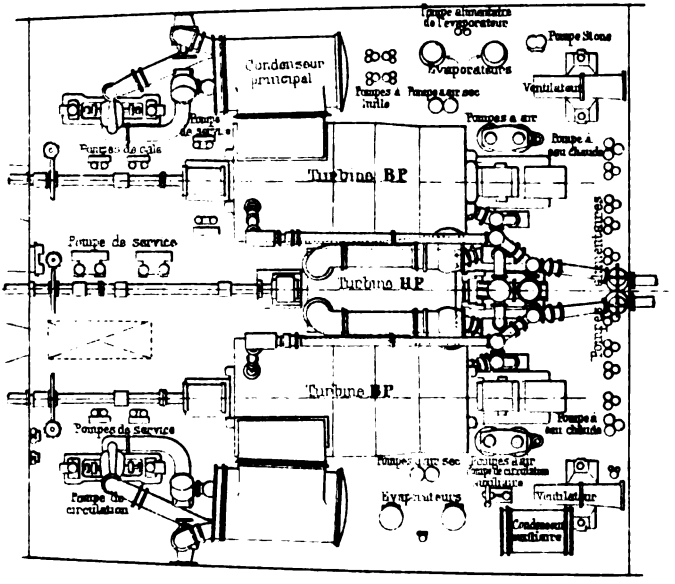
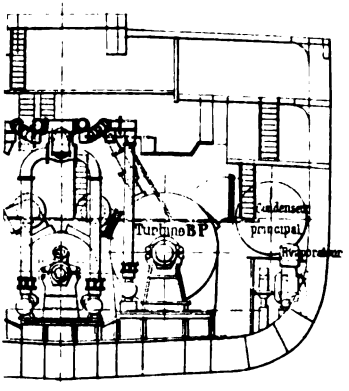


Fig.12. ½ Coupe transversale.



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

FÉVRIER 1906

N° 2.

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de février 1906, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Chemins de fer et Tramways.

Eleventh Annual Report of the Boston Transit Commission, for the year ending June 30, 1905 (in-8°, 235 × 145 de 113 p. avec pl.). Boston, E. W. Doyle, 1905.

FOCK (A.). — *The Economic Conquest of Africa by the Railroads*, by A. Fock (From the Smithsonian Report for 1904, pages 721-735) (in-8°, 245 × 155 de 15 p. avec 4 fig.). Washington, Government Printing Office, 1905. (Don de la Smithsonian Institution.) 44297

Chimie.

BELTZER (F.-J.-G.). — *La grande industrie tinctoriale*, par Francis-J.-G. Beltzer (in-8°, 255 × 165 de XXIV-1050 p. avec 99 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906.) (Don des éditeurs.) 44305

GRANGER (A.). — *La céramique industrielle, Chimie, Technologie*, par Albert Granger (Bibliothèque technologique) (in-8°, 220 × 130 de X-644 p. avec 179 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'éditeur.) 44292

Construction des machines.

ARMENGAUD (R.). — *La turbine à gaz, système Armengaud-Lemale*, par René Armengaud (Extrait des Publications du Congrès international des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie appliquées. Liége, 25 juin-1er juillet 1905. Section de Mécanique) (in-8°, 230 × 155 de 18 p. avec 9 fig.). Liége, Imprimerie La Meuse, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44276

RAVIGNEAUX (R.) ET IZART (J.). — *Principes et recettes*, par J. Ravigneaux et J. Izart (Bibliothèque du Chauffeur) (in-16, 190 × 120 de XII-402-96 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44289

Économie politique et sociale.

Annuaire-Chaix. Les principales Sociétés par actions, Compagnies de chemins de fer, Institutions de crédit, Banques, Sociétés minières, de transport, industrielles, Compagnies d'assurances, etc. Quinzième année (in-18, 180 × 120 de XIV-652 p.). Paris, Imprimerie Chaix, 1906. 44309

Annuaire statistique de la Ville de Paris. XXIVe année, 1903 (République Française. Préfecture de la Seine. Direction des Affaires municipales. Service de la Statistique municipale. M. le Dr Jacques Bertillon, chef des travaux de la Statistique) (in-8°, 255 × 175 de XXXII-841 p.). Paris, Masson et Cie, 1905. (Don de M. le Préfet de la Seine.) 44315

ARNAUDEAU (A.). —*Tables des Intérêts composés, Annuités et Amortissements pour des taux variant de dixièmes en dixièmes et des époques variant de 100 à 400 suivant les taux*, par A. Arnaudeau (in-8°, 280 × 190 de XI-15-125 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1906. (Don de l'éditeur.) 44291

Bulletin de la Société d'Économie politique (Suite des Annales). Année 1905 (in-8° 250 × 165 de 202 p.). Paris, Guillaumin et Cie. 44274

Rapports sur l'application des lois réglementant le travail en 1904 (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Direction du Travail) (in-8°. 235 × 155 de CCI-458 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1905. (Don du Ministère du Commerce.) 44312

Rapport sur l'apprentissage dans l'industrie de l'ameublement (République Française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Direction du Travail. Office du Travail. L'apprentissage industriel) (in-8°, 240 × 160 de XXIII-655 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1905 (Don du Ministère du Commerce). 44295

Électricité.

FRILLEY (R.). — *Les procédés de commande à distance au moyen de l'électricité*, par Régis Frilley (Actualités scientifiques) (in-16, 190 × 120 de VII-190 p. avec 94 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1906. (Don de l'éditeur.) 44293

GEOFFROY ET DELORE. PICOU (R.-V.). — *Compte rendu des essais d'un câble souterrain du système Geoffroy et Delore* fonctionnant sous une tension de 27 000 volts, effectués sous le contrôle et avec le concours de la Compagnie Thomson-Houston et de l'Énergie électrique du littoral Méditerranéen. Précédé d'un avant-propos de M. R.-V. Picou (in-8°, 240 × 155 de 22 p. avec 3 fig.). Paris, Imprimerie Chaix, 1906. (Don des auteurs, M. de la S.) 44302

LODGE (O.), MUGUES (E.), PERIDIER (J.) ET LANGEVIN (P.). — *Sur les électrons*, par Sir Oliver Lodge. Conférence faite à l'Institution of Electrical Engineers le 5 novembre 1902. Traduite de l'anglais par E. Nugues et J. Peridier. Préface de P. Langevin (Actualités scientifiques) (in-16, 190 × 120 de XIII-168 p. avec 6 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1906. (Don de l'éditeur.) 44294

MONTPELLIER (J.-A.). — *Les accumulateurs et les piles électriques*, par J.-A. Montpellier (Encyclopédie industrielle) (in-18, 180 × 115 de VI-305 p. avec 159 fig.). Paris, J.-B. Baillière et fils, 1906. (Don des éditeurs.) 44313

Enseignement.

Université de Nancy. L'Institut chimique de la Faculté des Sciences en 1906 (in-8°, 240 × 150 de 29 p.). Nancy, A. Crépin-Leblond, 1906. (Don de l'Université de Nancy). 44279

Législation.

XXXVI. Adressverzeichnis der Mitglieder der Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. polytechnischen Schule in Zürich. Herausgegeben im Auftrage des Vorstandes im Oktober, 1905 (in-8°, 225 × 155 de XVI-296 p.). Zurich, Druch von Juchli und Beck, 1905. 44316

American Institute of Mining Engineers. Officers, Members, Rules, etc. November 15, 1905 (in-8°, 235 × 150 de 159 p.). 44296

Annuaire de l'Association technique maritime 1906. Statuts, Règlements, Conseil, Liste des Membres, Mémoires publiés (in-8°, 180 × 115 de 84 p.). Paris, 16, rue de l'Arcade. 44281

Association amicale des Élèves de l'École nationale supérieure des Mines. 41e Annuaire arrêté au 1er novembre 1905 (1905-1906) (in-8°, 240 × 160 de 236 p.), Paris, Siège social. 44304

MICHEL (H.) ET DUVINAGE (L.). — *Les inventions industrielles à réaliser. Recueil de 525 questions à résoudre pour répondre aux besoins actuels de l'industrie*, par Hugo Michel. Traduit de l'allemand par Louis Duvinage (in-8°, 235 × 165 de 39 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44306

Métallurgie et Mines

GUILLET (L.). — *Étude industrielle des alliages métalliques*, par Léon Guillet (in-8°, 235 × 165 de VIII-1170 p. avec 210 fig. et album micrographique même format de 110 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44300 et 44301

Recueils statistiques sur les métaux suivants : Plomb, Cuivre, Zinc, Étain, Argent, Nickel, Aluminium et Mercure, établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgische Gesellschaft A. G. (12e année 1893-1904) (in-4°, 270 × 210 de XXVIII-67 p. avec 3 tabl.). Francfort-sur-Mein, Novembre 1905. 44277

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie, pour l'année 1904 (Ministère des Travaux publics. Direction des Routes, de la Navigation et des Mines. Division des Mines) (in-4°, 300 × 235 de XII-108-202 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1904. 44286

Statistique des houillères en France et en Belgique, publiée sous la direction de M. Émile Delecroix. Janvier 1905 (in-8°, 255 × 165 de 564 p.). Lille, L. Danel; Bruxelles, Mayolez et Audiarte. 44278

The Mineral Industry during 1904. Founded by the late Richard P. Rothwell. Prepared by Edward K. Judd. Volume XIII (in-8°, 235 × 160 de XV-589 p.). New-York and London, The Engineering and Mining Magazine, 1905. 44290

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

BERTIN (L.-E.). — *Évolution de la puissance défensive des navires de guerre*, par L.-E. Bertin (Extrait de la Revue des Deux-Mondes du 1er décembre 1905 et du 1er janvier 1906) (in-8°, 250 × 160 de 52 p.). Paris, Bureau de la Revue des Deux-Mondes, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44303

Club aéronautique de l'Aube. Réunion du 19 novembre 1905. Deuxième Bulletin annuel 1905 (in-8°, 210 × 135 de 48 p.). Troyes, Imprimerie Gustave Frémont, 1905. 44299

1er Congrès du Sud-Ouest navigable tenu à Bordeaux le 12, 13 et 14 juin 1902. Compte rendu des travaux (in-8°, 250 × 165 de 474 p. avec une carte). Paris, L. Mulo; Bordeaux, Forte et fils. (Don de M. A. Portait, M. de la S.) 44273

Flamm. — *Wissenschaftliches Arbeiten auf schiffbautechnischen Gebieten.* Rede zur Feier des Geburtsages Seiner Majestät des Kaisers und Königs Wilhelm II, inder Halle der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin am 26. Januar 1906 gehalten von dem zeitigen Rektor Flamm (in-8°, 280 × 190 de 17 p.). Berlin, Deuter und Nicolas. (Don de Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin.) 44314

Memorial du Génie maritime. Troisième série. Fascicule VII. Décembre 1905 (in-8°, 280 × 190 de 145 p. avec 8 pl.) (Ministère de la Marine). Paris, R. Chapelot et Cie, 1905. 44283

Pesce (G.-L.). — *La navigation sous-marine*, par G.-L. Pesce (in-8°, 310 × 210 de 498 p. avec 412 fig.). Paris, Vuibert et Nony, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S., et des éditeurs). 44307

Périodiques divers.

Annuaire des Journaux, Revues et Publications périodiques parus à Paris jusqu'en novembre 1905, suivi d'une Table systématique et du tarif postal pour la France et l'étranger. 26e année (in-8°, 225 × 140 de 444 p.). Paris, H. Le Soudier, 1906. 44310

Paris-Hachette. Annuaire complet, commercial, administratif et mondain. 10e année, 1906 (in-16, 200 × 190 de xvi-132-1000-668-640-320-xxiv-p. avec un plan de Paris). Paris, Hachette et Cie. 44272

Sciences Mathématiques.

Robineau (F.). — *Essai sur le balancier mu mécaniquement propre à frapper les médailles*, par Firmin Robineau (Manuscrit 270 × 210 de 45 p. avec fig. et pl.). Décembre 1898. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44288

Sciences morales. — Divers.

Obsèques de M. Ch. Pinat (Bulletin mensuel du Syndicat des Forces hydrauliques. 2e année. N° 19. Décembre 1905) (in-4°, 275 × 205 de 18 p.). Grenoble, Imprimerie générale. (Don du Syndicat des Forces hydrauliques.) 44282

Technologie générale.

Annuaire pour l'an 1906, publié par le Bureau des Longitudes, avec des Notices scientifiques (in-16, 180 × 90 de iv-712; A-161; B-18; C-8; D-41 p. avec 40 fig.). Paris, Gauthier-Villars. 44311

Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, Showing the Operations, Expanditures and Condition of the Institution for the year ending June 30, 1904 (in-8°, 240 × 145 de lxxix-804 p. avec pl.). Washington, Government Printing Office, 1905. 44280

Atti del R. Instituto d'Incoraggiamento in Napoli MCMIV. Serie sesta. Volume LVI degli Atti (in-4°, 305 × 200 de XVI-402-XLIII p.). Napoli, Società cooperativa litografica, 1905. 44285

LORENZ (O.) ET JORDELL (D.). — *Catalogue général de la Librairie française. Continuation de l'ouvrage d'Otto Lorenz (Période de 1840 à 1885 : 14 volumes). Tome seizième (Table des matières des tomes XIV et XV, 1891-1899). Rédigé par D. Jordell A.-K.* (in-8°, 245 × 155 de 532 p.). Paris, Per Lamm, 1905. 44287

The Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. LXVIII. N° II, 1905 (in-8°, 220 × 140 de XIV-879 p. avec XXIX pl.). London, E. and F. N. Spon, 1906. 44298

Travaux Publics.

Annuaire des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Contrôleurs des Mines. Personnel des Travaux publics 1906. Soixantième édition (Annales des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées. 60e année. 22 novembre 1905) (in-8°, 205 × 135 de 308 p.). Paris, Paul Dupont. 44275

La construction des ponts au XXe siècle. Les ponts Hennebique (in-4°, 270 × 220 de 84 p. avec photog.). Paris, Le Béton armé, 1906. (Don de M. Hennebique, M. de la S.) 44308

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de février 1906 sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

P.-V. Aubry,	présenté par MM.	E. Bourdon, Ch. Bourdon, Étienne.
P.-F. Barré,	—	Imber, Guillet, Gosse.
G. Brunon,	—	Brunon, Imbert, Krieg.
P. Darteyre,	—	H.-E. Boyer, Abadie, Bocquin.
P. Dieudé-Defly.	—	de Fréminville, E. Garnier, Rigolage.
P. Frot,	—	Coiseau, Chagnaud, Fougerolle.
P. Gadot,	—	Berlier, Desplats, J. Petit.
F. Godard,	—	Rueff, E. Garnier, Faure-Beaulieu.
A. Javal,	—	Armengaud, Fouché, Mardelet.
N. Kamenetsky,	—	Balas, Dufour, Journolleau.
P.-Ch.-E. Leroux,	—	Trélat, Jannettaz, J.-J. Pillet.
P.-E. Liot,	—	Kreutzberger, Ernault, Champigneul.
D. Lykiardopulo,	—	Mathieu, Le Camus, Ratel.
L.-J. Petit,	—	de Fréminville, Panhard, Rigolage.
P. Pickel,	—	Faullain de Banville, Denys, Tisserant.
L. Renault,	—	Lippmann, Blazy, Eschger.
R. Rousseau,	—	Avisse, Letombe, Salmon.
G. Tournier,	—	Cauvet, Roques, Portait.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

A.-I. Cahen,	présenté par MM.	Brüll, G. Richard, Méra.
R. Hochstetter,	—	Buquet, Couriot, Richou.
J.-Ch.-M.-G. Pierrot-Deseilligny,	—	Hillairet, Reymond, J. Dupont.

Comme Membres Associés, MM. :

A. Duteurtre,	présenté par MM.	Bertin, Durupt, de Dax.
E. Kiéner,	—	A. Mallet, L. Poliakoff, V. Poliakoff.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE FÉVRIER 1906

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1906

PRÉSIDENCE DE M. É. CORNUAULT, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

A. Marsaux, Ancien Élève de l'École Centrale (1868), Membre de la Société depuis 1875, Chevalier de la Légion d'honneur, Administrateur-Directeur de la Société des ponts et travaux en fer, Membre de la Chambre de commerce;

F. Morel, Ancien Élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons (1834), Membre de la Société depuis 1877, Administrateur-Ingénieur-Conseil des Bateaux à vapeur du Nord;

Auguste Lecomte, Membre de la Société depuis 1897, Ingénieur civil (éclairage par le gaz et l'alcool), Lauréat de la Société technique pour l'Industrie du gaz en France, Secrétaire de la Société technique de l'Industrie de l'alcool en France. Ce Collègue est mort, victime de la science, à la suite d'un accident survenu dans un laboratoire où il procédait à des expériences sur les carburants du gaz à l'eau.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues les sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes. Ont été nommés :

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. H. Julliot, E. Demenge, M. Métayer, F. Robineau, A. Lespès, H.-A.-C. Prévost, M. P. Otto, P. Benoist, L.-V. Benet, E. Horn;

Officier de l'Instruction publique : M. J. Holzschuch;

Officiers d'Académie : MM. A. Chassin, A.-J. Goblet, P.-M. Leroy, Ch. Marteau, A. Morizot, T.-F. Schertzer;

Officier du Mérite Agricole : M. A. Hallier;

Chevaliers du Mérite Agricole : MM. P.-L. Arbel, J.-V. Boilève, Alp. Tellier.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance; cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT dit que, dans la séance de ce jour, la Société doit procéder à l'élection de trois Jurés Titulaires et de trois Jurés Supplémentaires pour le Prix Nozo, qui doit être décerné cette année. Sont élus :

Comme Jurés Titulaires : MM. Bodin, Picou et Dupont;

Comme Jurés Supplémentaires : MM. Baclé, Caudlot, Arnoux.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le premier Congrès de la Prévention du Feu dans les Bâtiments aura lieu, à Paris, du 1er au 5 mars prochain.

M. LE PRÉSIDENT signale que, par suite d'une erreur d'impression, le nom de M. J. Koechlin ne figure pas, comme Membre de la Deuxième Section, sur la carte des séances donnant la composition du Comité, et qui a été envoyée à tous les Membres de la Société avec le dernier procès-verbal.

Il exprime à M. Koechlin ses regrets de cette omission involontaire, et fait connaître qu'il a été procédé d'urgence à la réimpression de cette carte. Elle sera envoyée avec le procès-verbal de la séance de ce jour. Il demande donc à ses Collègues de considérer comme nulle la première carte qui leur est parvenue.

M. LE PRÉSIDENT signale, qu'en vue de remédier aux défectuosités de la salle, il est fait ce soir l'essai d'une nouvelle disposition. Cette installation ne sera, bien entendu, que provisoire, et les modifications ne seront adoptées que si, après plusieurs séances, elles semblent donner un résultat satisfaisant.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'une autre amélioration est également à l'étude. Il s'agit de la modification de l'éclairage de la salle, qui laisse beaucoup à désirer.

Notre Président, M. Hillairet, et lui-même, ont pensé qu'il n'était pas possible de conserver plus longtemps le système d'éclairage par arcs, qui, outre sa fixité relative, présente encore quelques autres inconvénients.

Un essai sera fait pour la prochaine séance. en remplaçant lesdites lampes à arc par une série de lampes à incandescence.

M. H. CHEVALIER a la parole pour sa communication sur les *Charrues d'Asie.*

M. H. CHEVALIER continue la série des études qu'il a présentées à la Société sur l'*Histoire de la Charrue* en parlant des charrues d'Asie. L'ordre géographique pouvant amener de nombreuses répétitions incom-

patibles avec une communication verbale, il adopte une classification conventionnelle en deux grandes classes, charrues instables et charrues stables, pioches ou pelles, la limite entre ces deux classes étant quelquefois difficile à établir.

Dans la première classe, le plus ancien modèle ayant date certaine est la charrue chaldéenne du XII^e^ siècle avant Jésus-Christ, copie de la charrue égyptienne du XVII^e^. Les charrues actuelles du Liban et de la Syrie sont sur le même modèle, mais avec un fer; il est donc probable que les Hébreux ont eu des charrues analogues. Les charrues de l'Inde sont assez différentes. En Chine on trouve la charrue à main qu'un homme tire avec une corde ou la charrue de rizière tirée par un buffle. Les modèles de Ceylan, du Japon et de la Corée ressemblent à des pioches ou à des houes, celui de Minoussinsk, en Sibérie est, au contraire, tout différent et remarquable par ses fers jumeaux et écartés.

Entre la première et la deuxième classe on peut ranger quelques types de l'Inde, de l'Annam et du Tonkin, ainsi qu'une espèce de pelle japonaise; on y trouve quelques applications du versoir. Enfin certains instruments ne sont stables que parce qu'ils ont plusieurs fers : charrues de Seringapatame et charrues semoirs de l'Inde, de la Sibérie et de la Chine.

Les semoirs étaient connus en Chine au II^e^ siècle avant Jésus-Christ et depuis plus de cent ans l'on se sert dans l'Inde de semoirs à dix ou douze rangs.

Dans la deuxième classe, on trouve les charrues très simples de l'Asie Centrale et de Sibérie, qui, en se perfectionnant, deviennent la charrue de Tobolsk avec avant-train.

Les charrues arabes tadjiks et malaises forment une petite famille particulière, dans laquelle apparaît l'étançon ou le coutre, le versoir se répand.

La charrue d'Assyrie au VIII^e^ siècle avant Jésus-Christ avait un versoir à claire-voie, tandis que la charrue persane d'aujourd'hui n'en a plus. En Indo-Chine, en Chine et au Japon, les modèles stables sont assez nombreux; les meilleurs sont les charrues à sabot de Mandchourie et de Corée.

M. H. Chevalier termine sa communication par quelques projections montrant les différents attelages, éléphant, chameau, bœuf, buffle, yak, cheval, employés suivant les pays.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. H. Chevalier de sa communication et des aperçus qu'il a donnés tant sur l'histoire de la charrue à travers les âges que sur son mode de construction dans chaque pays.

M. L. SEKUTOWICZ a la parole pour son *Étude sur les turbines à gaz*.

L'étude de M. Sékutowicz se divise en quatre parties.

Dans la première partie, l'auteur définit les turbines à gaz et présente l'historique succinct des travaux théoriques, des brevets et des essais pratiques dont ces machines ont fait l'objet. La seconde partie est consacrée à l'étude thermodynamique et à la comparaison critique des divers systèmes imaginables. L'étude de la turbine proprement dite fait l'objet de la troisième partie et la quatrième est consacrée aux détails

de construction des principaux organes (compresseurs, chambre de combustion, tuyères, roues mobiles etc.).

Première partie : Définition et historique.

On peut réunir, sous le nom de turbines à gaz, les machines thermiques dans lesquelles la chaleur est transformée en travail mécanique par la détente d'un mélange de gaz agissant sur l'organe mobile d'une turbine.

La première idée de ces machines remonte au moins à 1847. A cette date, M. Burdin, Ingénieur en chef des Mines et correspondant de l'Institut a proposé de construire une turbine à air chaud à roues multiples, utilisant comme compresseur une série de ventilateurs couplés en tension et disposés d'une manière analogue.

En présentant ces recherches à l'Académie des Sciences en 1853, Tournaire exposait avec une remarquable sagacité les difficultés pratiques de réalisation des turbines à gaz et aussi « la révolution complète » qui se trouverait accomplie en cas de succès non-seulement sous le » rapport de la quantité de combustible consommée, mais aussi sous le » rapport non moins important des masses et des volumes entrant dans » la construction des machines. »

L'honneur d'avoir tracé la voie revient donc à ces savants français, malgré les illusions dont se bercent encore quelques techniciens allemands contemporains dont les travaux sont beaucoup plus récents. Cependant la question est à peine entrée, aujourd'hui encore, dans la période de construction et d'essais industriels, malgré les recherches qui se multiplient en France, en Amérique, en Angleterre et en Allemagne.

Les auteurs qui se sont occupés soit des moteurs à gaz, soit des turbines à vapeur expriment, en général, un certain scepticisme sur l'avenir réservé aux turbines à gaz. Par contre, les rares techniciens qui ont consacré des travaux spéciaux à ces machines ont insisté sur leurs avantages théoriques. Mais on rencontre souvent des opinions contradictoires ou même erronées à leur sujet.

Deuxième partie : Étude thermodynamique.

Les principaux modes d'évolution que l'on peut adopter dans les turbines à gaz peuvent se ranger dans les catégories suivantes d'après le mode d'introduction de la chaleur dans le cycle.

1° *Cycles à combustion isothermique* (cycles de Carnot et dérivés : Diésel, etc.). On ne saurait y recourir en pratique à cause des compressions excessives qu'ils exigent;

2° *Cycles à combustion isobarique* (analogues au cycle des moteurs à gaz dits à combustion) Leur comparaison montre que l'on doit adopter une compression isothermique poussée aussi loin que possible soit vers 30 à 40 atm et rejeter la compression adiabatique;

3° *Cycles à combustion isoplérique* (sous volume constant) analogues au cycle des moteurs à explosion. Théoriquement, ces cycles donnent des résultats comparables à ceux des cycles à combustion isobarique avec

l'avantage d'exiger une compression environ moitié moindre. Mais leur adaptation aux turbines à gaz est, comme on le verra, problématique.

Dans cette analyse critique, l'auteur se base sur la comparaison des rendements thermiques, des rendements mécaniques et de l'effet utile total après avoir montré toute l'importance du rapport entre le travail de compression et le travail utile net.

En effet, la grosse difficulté résulte de la présence du compresseur dont le rendement influence grandement l'effet utile total et cela dans une mesure d'autant plus considérable que le rapport du travail de compression au travail utile est plus élevé. Ce rapport varie de 0,2 à 1 et l'auteur montre qu'avec les valeurs actuelles du rendement de la turbine et du compresseur, le rendement mécanique total peut s'annuler dès que le rapport en question approche de l'unité).

La turbine à gaz est, par suite, caractérisée à la fois par un rendement thermique remarquable et par un rendement mécanique relativement faible. L'effet utile total se rapprocherait néanmoins de celui du moteur Diésel.

Après avoir montré ainsi que le meilleur résultat s'obtiendra avec de fortes compressions, de fortes introductions de chaleur (environ 500 calories par kilogramme et une température d'échappement voisine de 700 degrés absolus, on est conduit à rechercher si divers artifices ne permettraient pas de réaliser des rendements encore plus élevés.

L'auteur examine successivement à ce sujet :

1° *Les cycles à récupération de chaleur* dans lesquels une partie de la chaleur des gaz de l'échappement est employé à réchauffer les gaz comprimés se rendant dans la chambre de combustion. On obtient ainsi une amélioration sensible du rendement thermique sans modifier notablement le rendement mécanique ni l'importance du compresseur;

2° *Les cycles à détente prolongée* dans lesquels une pompe à air abaisserait artificiellement la pression en aval de la turbine, mais sans améliorer l'effet utile total.

3° *Les cycles comportant une injection d'eau ou de vapeur.* Ceux-ci peuvent être réalisés de plusieurs manières. D'abord l'injection peut se faire *dans la chambre de combustion* ou au contraire en *aval de la tuyère de détente.*

Si l'injection se fait *dans la chambre de combustion* l'effet utile peut être amélioré par une injection d'eau, du moins dans les conditions actuellement réalisées en ce qui concerne les rendements mécaniques.

L'injection de vapeur dans la chambre de combustion serait moins avantageuse que l'injection d'eau s'il fallait emprunter cette vapeur à une chaudière distincte. Mais si l'on peut injecter de la vapeur obtenue dans une chaudière à haute pression *chauffée par les gaz de l'échappement* on obtient une solution très avantageuse. A la pression de 40 atm le rendement total atteindrait ainsi 0,34 au lieu de 0,26 dans le cas d'un cycle identique sans récupération ni injection (1).

(1) La surface de chauffe nécessaire est de l'ordre de grandeur de la surface du condenseur d'une machine à vapeur de même puissance.

4° *Les cycles à injection de gaz froids après la détente.* — Cette idée ne conduit à aucun résultat. Si les gaz sont injectés à faible vitesse il se produit une perte importante d'énergie anétique. Si on leur imprime au préalable une vitesse égale à celle du courant gazeux on dépense dans ce but un travail qu'il eût été plus avantageux d'affecter au compresseur principal ;

5° *Les cycles combinés* correspondant à l'utilisation d'une partie des chaleurs perdues au moyen d'une machine secondaire « à vapeur froide ». Cette solution est moins avantageuse que la récupération directe.

En reprenant en détail les hypothèses faites en vue d'exécuter les calculs précédents, M. Sékutowicz montre ensuite que, selon toute probabilité, les imperfections inévitables des cycles réels ne modifieraient pas dans une mesure excessive les résultats théoriques.

Toutefois la principale inconnue correspond à la véritable loi de détente des gaz chauds à haute pression, le rendement étant grandement influencé par la forme de cette loi. C'est donc sur ce point que les recherches préliminaires devront surtout porter.

L'auteur montre enfin que la nature du combustible ne présente une grande importance ni au point de vue des rendements ni à celui des dimensions des machines — et que, pour fixer les idées, on peut s'attendre à réaliser dans une turbine à pétrole lampant une consommation de combustible de 200 gr environ par cheval-heure, du même ordre de grandeur par conséquent que celle du moteur Diésel.

Troisième partie : Étude de la turbine.

L'application des lois de l'écoulement des gaz à travers une tuyère de détente adiabatique montre que les vitesses d'écoulement seront un peu supérieures à celle de la vapeur (1 500 à 1 6000 m par seconde pour une température de 700 degrés absolus à l'échappement) et que la puissance débitée par unité de section des tuyères sera plus grande. Il résulte des essais de Stodola et des autres expérimentateurs que dans le régime variable il se produirait, dans les turbines à explosion, de graves inconvénients.

Un coup d'œil rapide sur l'influence du frottement et sur le rendement hydraulique réalisable justifie les hypothèses faites dans la deuxième partie sur la valeur probable du rendement mécanique.

Cette partie du travail se termine par l'étude des dispositifs à adopter pour régler la puissance et la vitesse d'une turbine à gaz.

Quatrième partie : Détails de construction.

La quatrième partie de la communication est consacrée à l'étude des détails de construction des principaux organes d'une turbine à gaz. Après avoir exposé sommairement ce que l'on peut attendre actuellement des compresseurs à mouvement alternatif et à marche rapide et des turbines-compresseurs, l'auteur examine les récupérateurs de chaleur à faisceau tubulaire à grande vitesse de circulation et les chaudières à vaporisation instantanée à haute pression (Serpollet, Renard, etc.). Il s'occupe ensuite de la production du combustible et de

son utilisation dans la chambre de combustion. Après avoir étudié le dispositif à adopter pour les tuyères do détente, il montre que la construction des roues mobiles soumises à une température absolue de 700 degrés ne présente actuellement aucune difficulté.

Cette dernière partie se termine par le calcul sommaire d'une turbine à gaz de puissance donnée et l'indication du programme des recherches expérimentales nécessaires pour préciser les bases de ce calcul.

Conclusion.

M. Sékutowicz termine en faisant ressortir une dernière fois le haut intérêt théorique des turbines à gaz et les espérances d'ordre pratique que l'on peut fonder sur ces machines. Sans se dissimuler l'inconvénient résultant de la présence d'un compresseur distinct on doit éviter d'en exagérer la gravité. La turbine à gaz ne saurait être une panacée. Elle ne remplacera pas les turbines à vapeur lorsqu'il s'agira de consommer comme combustible la houille ordinaire. Mais elle peut prétendre à concurrencer notamment le moteur à gaz pauvre et le moteur à gaz de haut fourneau ainsi que les moteurs à pétrole lampant, à alcool, etc. Son utilisation est indiquée avec tous ces combustibles autres que la houille. Elle devrait conduire dès maintenant, malgré le faible rendement mécanique *actuellement* réalisable à une meilleure utilisation du combustible. La faiblesse même de son rendement mécanique actuel laisse la porte ouverte à des progrès ultérieurs qui lui assurent d'autant plus d'avenir.

Enfin elle présente, pour la commande des dynamos et des alternateurs, les mêmes avantages que la turbine à vapeur. Il en est de même en ce qui concerne la propulsion des navires.

On peut donc prédire aux turbines à gaz un champ d'applications très étendu et il est vraisemblable que les recherches pratiques feront ressortir en outre des avantages particuliers difficiles à prévoir *a priori* ainsi que le fait s'est produit pour les turbines à vapeur.

M. J. Deschamps proteste, d'abord, encore une fois, contre l'abus qui est fait de la loi de Carnot, qui appelle des réserves et que l'on ne doit appliquer que dans le cas spécial des cycles réversibles, à des températures relativement basses.

Il montre que l'on peut discuter tout ce qui est relatif aux moteurs et turbines à gaz. en considérant seulement les diagrammes, les lois théoriques et expérimentales de la compression et de la détente.

Il signale, notamment, comment les limites de pression, de tempé rature, compatibles avec les résistances des matériaux employés, permettent de démontrer l'avantage du moteur à explosion pour les petites compressions et la supériorité du moteur à combustion sous pression constante, pour les hautes compressions.

Il fait observer que, pour les turbines, comme pour les moteurs à piston, où la compression ne se fait pas dans le cylindre moteur même, le travail de compression n'est pas égal à $\int pdv$ comme l'indiquent, en général, les ouvrages spéciaux, mais à $\int vdp$ qui est égal à l'intégrale précédente multipliée par γ, c'est-à-dire augmentée presque de moitié

quand la compression est adiabatique. Cette importance plus grande du travail de la compression est, selon lui, la cause principale de l'échec des anciens moteurs à deux temps, si préférables à beaucoup de points de vue aux moteurs actuels.

Pour les turbines, dont deux des avantages principaux sont la simplicité et le peu d'encombrement, il ne faut songer à employer que la compression adiabatique. Le travail consommé pour la compression préalable, par rapport au travail recueilli sur l'arbre, est encore plus grand que pour les anciens moteurs à deux temps, à cause du faible rendement des compresseurs.

Il semble donc à M. Deschamps que, contrairement à l'opinion soutenue par M. Sekutowicz, les turbines à explosion, qui peuvent fonctionner avec peu de compression et même sans compression, doivent être considérées comme très supérieures aux turbines avec chambre de combustion sous pression constante, au moins tant que les compresseurs-turbines n'atteindront pas un rendement excellent.

On a d'ailleurs imaginé des procédés permettant d'annuler les inconvénients de l'explosion signalés par M. Stodola et rappelés par M. Sekutowicz.

M. Deschamps termine en faisant valoir que l'on peut, avec une turbine, détendre les gaz, jusqu'à la pression atmosphérique et que la perte de chaleur aux parois est très restreinte.

Ces deux qualités assurent, au rendement de la turbine, un avantage considérable par rapport à celui du moteur à piston.

La supériorité de la turbine à gaz, sur le moteur à gaz à piston, semble à M. Deschamps devoir être beaucoup plus grande que celle de la turbine à vapeur, sur la machine à vapeur à piston, où l'on peut faire des détentes multiples, tandis que les pertes de chaleur aux parois annulent le bénéfice de la détente prolongée dans les moteurs à gaz qui sont déjà trop lourds et trop encombrants sans ce perfectionnement.

M. René Armengaud tient tout d'abord à remercier, au nom de M. Lemale et en son nom personnel, M. Sekutowicz d'avoir donné dans sa conférence quelques descriptions succinctes de leurs différents brevets relatifs à leur turbine à combustion. Il tient également à le féliciter de sa très brillante communication, dont les données théoriques et les conclusions sont encourageantes pour la Société des Turbomoteurs qui poursuit maintenant, depuis près de quatre ans, la réalisation pratique de ce problème.

Du reste, en juin 1905, au Congrès international de mécanique de Liége, M. R. Armengaud avait déjà signalé, dans sa communication, que les résultats d'ordre pratique qu'il avait obtenus, ainsi que la succession d'études théoriques très approfondies qu'il avait poursuivies sur cette turbine à combustion, l'avaient conduit à envisager la construction d'une unité d'environ 300 ch actuellement en voie d'achèvement dans les ateliers de la Société Brown et Boveri, à Baden, et de MM. Cohendet et Cie, à Paris.

Dans cette machine, l'air qui arrive dans la chambre de combustion est comprimé à la pression de 5,500 kg au moyen d'un compresseur poly-

cellulaire, système Rateau, accouplé sur le même arbre que la turbine.

M. Armengaud avait espéré qu'à la suite de la lecture du compte rendu de cette communication, M. Sekutowicz n'aurait pas voulu laisser s'accréditer cette idée, à savoir : que les Français n'avaient encore rien tenté jusqu'à ce jour, en fait d'études théoriques et d'essais pratiques, pour mener à bien la résolution de ce problème. Il lui suffit d'invoquer ici même le témoignage de MM. de Chasseloup-Laubat, Rateau, Max Richard, J. Deschamps, tous membres de la Société des Ingénieurs Civils de France, pour démontrer le contraire. Au surplus, il demande à M. Sekutowicz de se reporter aux articles de M. Barbezat, parus en juin 1904 dans la *Schweizerische Bauzeitung* et, en novembre 1904, dans *l'Eclairage électrique*, qui rendaient compte en partie de nos études personnelles et qui envisageaient également toutes les solutions possibles de la turbine à combustion.

Entre autres choses, M. Barbezat insistait particulièrement sur ce fait, que M. Sekutowitz semble ne pas avoir considéré : c'est que le rendement économique d'une turbine à combustion se trouve limité, d'une part, par la température maximum que peuvent supporter les aubes des roues mobiles et, d'autre part, par la chute de pression compatible avec un bon rendement, et un encombrement convenablement restreint pour le compresseur.

Revenant à présent à la question brevet, M. R. Armengaud signale, que ce n'est pas M. Zoelly qui posséderait le brevet de principe de la turbine à combustion, s'il y a lieu d'appeler un tel brevet par ce nom, mais bien plutôt la Société des Turbomoteurs, dont la revendication du brevet allemand délivré en 1901 est la suivante. « Je revendique, dans une turbine à gaz à combustion et à pression constante, l'interposition d'une chambre de combustion entre le point d'allumage et les tuyères de détente. »

En ce qui concerne la turbine à explosions, M. Armengaud ne se montre pas aussi pessimiste que M. Sekutowicz, et se range plutôt à l'avis de M. J. Deschamps.

En effet, les résultats qu'il obtient en ce moment sur une turbine de ce genre sont assez intéressants pour qu'il en fasse part très brièvement à la Société.

Cette turbine fait quatre-vingts explosions à la seconde; la vitesse de sortie des gaz de la tuyère est de 300 m, et le mélange est introduit sans intermédiaire d'un organe compresseur.

Étant admis ces récents résultats obtenus, il lui semble donc qu'il n'y a pas lieu de dire que la turbine à combustion réussira plutôt que la turbine à explosions, ou réciproquement, mais que, bien au contraire, il y a intérêt, pour l'avenir de ces deux genres de machines, que les chercheurs ne se cristallisent pas à travailler dans une voie plutôt que dans une autre.

Répondant à M. Deschamps, qui a demandé sur quelles bases avait été établi le calcul du travail de compression nécessaire pour réaliser dans les turbines à gaz les cycles théoriques discutés par lui, et en particulier s'il avait tenu compte du travail de refoulement de l'air,

M. Sekutowicz dit qu'il a tenu compte de ce travail dans le cas où il entrait en jeu, c'est-à-dire lorsque la compression est adiabatique.

En effet, le travail absorbé par le compresseur se compose du travail de compression proprement dit, qui a pour valeur, lorsque la compression est isothermique, $RT_0\mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$ augmenté du travail nécessaire pour refouler, dans un réservoir maintenu à la pression p_1, l'air qui a été porté de p_0 à p_1 dans le cylindre même du compresseur. Ce second terme a pour valeur $p_1v_1 - p_0v_0$, et, dans la compression isothermique, on a $p_1v_1 = p_0v_0$, de sorte que le second terme s'annule, et $\mathfrak{C}_c = RT_0\mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$.

Au contraire, dans le mode de compression adiabatique, le premier terme a pour valeur $Ec_v(T_1 - T_0)$, et le second $(p_1v_1 - p_0v_0) = R(T_1 - T_0)$, d'où $\mathfrak{C}_c = (EC_v + \frac{1}{4}R)(T_1 - T_0) = EC_p(T_1 - T_0)$.

Telles sont les formules qui ont servi de base à M. Sekutowicz. Elles sont d'ailleurs d'accord avec les formules des ouvrages classiques, notamment celui de M. Haton de la Goupillère. M. Barbot les a également employées dans son étude de 1895, et M. Barkow dans sa Note sur les turbines à gaz.

Il résulte de ce fait un avantage considérable du mode de compression isothermique sur le mode adiabatique dans les turbines à gaz, au point de vue de la puissance du compresseur, et par suite du rendement (surtout du rendement mécanique). Mais il n'en résulte aucun avantage ou inconvénient relatif de la turbine à gaz sur le moteur à gaz.

M. Sekutowicz ajoute que M. Deschamps a mis en doute la possibilité pratique de réaliser une compression isothermique. Mais il faut remarquer que les compresseurs de Billancourt livrent l'air comprimé à 80 kg à une température de 60° C. seulement, tandis que la compression adiabatique aurait donné 740° C. (au-dessus de la glace fondante). Les diagrammes relevés sur les compresseurs de l'usine du quai de la Gare ont donné des courbes de compression qui montrent que l'on arrive, avec une injection d'eau et de bonnes enveloppes de refroidissement, à se rapprocher beaucoup plus de l'isothermique que de l'adiabatique, même dans chacun des étages de compression, considéré isolément, et à fortiori dans l'ensemble de l'opération, si l'on dispose des surfaces de refroidissement entre les différents étages.

D'ailleurs, les résultats d'essais prouvent que le rapport entre le travail absorbé sur l'arbre du compresseur et le travail de compression calculé par la formule $RT_0\mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$ varie, dans ces machines, entre 0,75 et 0,85 à 0,90, alors que M. Sekutowicz adopte, dans sa discussion, une valeur de 0,70 pour ce rapport, qu'il appelle η_c.

Enfin, M. Deschamps ayant montré que le cycle de Carnot ne peut servir de critérium pour juger la valeur d'un mode d'évolution et que les autres facteurs jouent un rôle au moins égal à celui des limites de température dans l'obtention du résultat final, M. Sekutowicz fait remarquer que ces constatations concordent avec sa propre thèse.

M. Sekutowicz répond ensuite à M. René Armengaud qui, d'autre part, a insisté sur l'intérêt des turbines à explosion, et parlé d'une turbine sans compression préalable, réalisant automatiquement un très grand nombre d'explosions successives.

Il y a lieu de remarquer, à ce sujet, que ce genre de machines n'est nullement impossible à réaliser, mais que le rendement thermique ρ et l'effet utile total $\rho\eta$ ne peuvent être que très faibles, inférieurs à 0,19 et 0,13 respectivement, du moins si l'on tient compte de ce que la température d'échappement ne peut dépasser 700 degrés absolus.

M. le Président remercie M. Sekutowicz de son intéressante Communication, qui montre l'intérêt que présentent les études, poursuivies avec tant d'activité, sur la question des turbines à gaz.

Les machines à vapeur sont combattues victorieusement par les moteurs à gaz, qui les surpassent certainement sous le rapport de *l'utilisation du cycle thermodynamique*.

Aussi, le succès de la turbine à vapeur, dû tant à sa faible consommation qu'à son très petit encombrement, et qui, à partir de 1 000 ch environ, est certainement supérieure à la machine à piston, a-t-il amené tout naturellement l'idée de rechercher si les turbines à gaz ne pourraient pas, elles-mêmes, être supérieures aux machines ou aux moteurs à gaz à piston.

Les inventeurs qui ont été tentés par l'étude de ce programme sont déjà légion; tels MM. Neilson, le docteur Lucke, le professeur Reeve, M. Clerk, Président de la « Junior Institute of Engineers ».

On conçoit très bien qu'on puisse actionner une turbine au moyen de gaz portés à une forte pression par combustion continue ou par des explosions.

En théorie, cela est très possible, mais, en pratique, la production du fluide moteur exige des organes spéciaux, tels que compresseurs, chambres d'allumage, etc., qui rendent la turbine à gaz plus compliquée que le moteur à gaz à piston, à l'inverse de ce qui a lieu avec la vapeur. Un autre grand obstacle est l'intensité de la chaleur développée.

M. le Président remercie également MM. J. Deschamps et Armengaud des observations qu'ils ont bien voulu rapidement présenter à la suite de la Communication de M. Sekutowicz.

Cette question est certainement à l'ordre du jour, et il est à désirer qu'une discussion plus complète puisse être reprise, lorsque le mémoire de M. Sekutowicz aura paru dans nos Bulletins, et que chacun aura pu, ainsi, étudier à loisir les théories développées par notre Collègue.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. G. Brunon, P. Darteyre, P. Dieudé Defly, F. Godard, E. Liot, G. Tournier, comme Membres Sociétaires Titulaires, et de :

M. J.-Ch.-M. Pierrot Deseilligny comme Membre Sociétaire Assistant.

MM. P.-A. Aubry, P.-F. Barré, P. Frot, P. Gadot, A. Javal, N. Kamenetsky, P.-Ch.-E. Leroux, D. Lykiardopulo, L.-J. Petit, P. Pickel,

L. Renault, R. Rousseau sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires;

MM. A.-I. Cahen, R. Hochstetter, comme Membres Sociétaires Assistants, et

MM. A. Duteurtre et Édouard Kiener comme Membres Associés.

La séance est levée à 11 heures et demie.

L'un des Secrétaires techniques,
J.-G. BOUSQUET.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

M. LE PRÉSIDENT fait connaitre qu'une erreur d'impression s'est glissée dans l'ordre du jour de la séance de ce jour. M. Chaudy est inscrit comme devant prendre la parole en fin de séance d'aujourd'hui, alors que sa communication doit, en réalité, avoir lieu en tête de la séance du 2 mars prochain.

Sous réserve de cette modification, le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaitre le décès de :

M. Charles Pronnier, Membre de la Société depuis 1852, ancien élève de l'École Centrale (1851), Chevalier de la Légion d'honneur.

M. Pronnier s'était, pendant de longues années, consacré aux questions touchant les chemins de fer et fit à notre Société plusieurs communications sur ces différents sujets. Il fut, en collaboration avec M. Molinos, ancien Président, l'un des auteurs du grand ouvrage bien connu sur les ponts métalliques. Il a été Ingénieur du matériel de plusieurs Compagnies de chemins de fer et directeur de la Compagnie de tonage de la Basse-Seine et de l'Oise.

M. le Président adresse à la famille de notre Collègue les sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer les décorations et nominations suivantes :

Ont été nommés :

Officier du Nicham Iftikhar : M. G.-A. Morin;

Chevalier de l'Étoile noire du Bénin : M. D. Casalonga.

M. L. Baclé a reçu la croix de l'Ordre de Sainte-Anne de Russie

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance; cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que le 6e Congrès de Chimie appliquée se tiendra à Rome au mois d'avril prochain.

M LE PRÉSIDENT dit que la Société a la bonne fortune d'entendre ce soir, comme conférencier, M. Salesses, Secrétaire général des Colonies. M. Salesses a bien voulu nous donner la primeur du compte rendu de la mission qu'il a remplie tout récemment en Afrique pour en étudier les chemins de fer.

La Société est heureuse d'avoir pu, à cette occasion, inviter la Société des Ingénieurs Coloniaux, dont le Président, M. Gallois, est Président de la 5e Section de notre Comité.

M. le Président invite M. Gallois et M. Rousseau, Secrétaire général de la Société des Ingénieurs Coloniaux, à prendre place au Bureau.

M. SALESSES a la parole pour sa communication sur *les Chemins de fer africains. — Étude d'ensemble.*

M. E. SALESSES, après avoir sollicité l'indulgence de l'auditoire pour son peu d'habitude de la parole en public, rappelle tout d'abord qu'il faut remonter à l'année 1896 pour trouver le premier essai du travail qu'il présente aujourd'hui à la Société; cet essai d'histoire des chemins de fer africains, paru dans le numéro de septembre du *Bulletin du Comité de l'Afrique française*, a été le premier en date d'une série de travaux d'autres auteurs sur le même sujet. Toutefois, malgré une recherche assidue, de 1896 à 1905, de tous les documents possibles sur les chemins de fer africains, une enquête menée sur place constituait encore le seul moyen pratique de rassembler un stock personnel d'informations dans des conditions excluant toute exagération, tout malentendu et toute réticence.

L'auteur fait remarquer en passant l'influence heureuse de l'entente intervenue avec notre voisine de l'autre côté de la Manche sur les résultats de son voyage : l'accueil des Anglais et des Portugais a été plus que courtois, et il n'a eu qu'à se louer de leurs bons procédés et de leur hospitalité. Tant de la part de Lord Cromer et de Sir Reginald Wingate en Égypte et au Soudan, que de celle de M. Wilson à Uganda, de Lord Selborne et des ingénieurs du Sud-Africain, des gouverneurs et ingénieurs de l'Angola, du Lagos, de la Gold Coast et de Sierra Leone, ce ne fut que prévenances et attentions de toutes sortes; il en a été de même, d'ailleurs, de nos compatriotes, consuls, fonctionnaires et ingénieurs en Égypte, au Dahomey et au Sénégal.

Les moyens pratiques de réalisation de la mission furent assurés par M. Roume, Gouverneur général de l'Afrique occidentale, aux qualités

éminentes duquel M. Salesses rend hommage, et qui approuva la mission et le devis de ses frais se montant à 24 000 f. Cette dépense, comme celle de l'exploration scientifique récente de M. Chevallier et celle des grandes pêcheries projetées au banc d'Arguin a été prélevée par M. Roume sur une réserve de son budget consacrée à des expériences et à des recherches; les résultats d'une telle mesure parlent d'eux-mêmes.

La décision de M. Roume, au sujet de la mission, a été approuvée par le Ministre des Colonies; le Ministère des Affaires Étrangères fournit les lettres d'introduction nécessaires auprès des consuls, et avisa les puissances intéressées, de manière à ouvrir toutes les portes; le départ s'effectua le 18 janvier 1903 à Marseille, et le retour eut lieu le 8 septembre de la même année, après un parcours de 38 000 kilomètres en 264 jours, distance peu différente du méridien terrestre. Ces chiffres méritent de retenir l'attention, car ils montrent la profonde modification que l'Afrique a subie au point de vue de la facilité des communications durant ces dix dernières années.

Malgré la rapidité de ce voyage, l'auteur estime avoir recueilli la majeure partie de la moisson qui s'offrait à lui; un plus long séjour aurait pu sans doute le familiariser avec certains détails de chaque ligne, mais il y aurait peut-être perdu comme vue d'ensemble; de plus, le souci de son propre chemin de fer ne lui permettait pas de l'abandonner plus longtemps, malgré le concours dévoué et plein de distinction de son Directeur adjoint, M. le commandant Almand. La préparation du voyage avait d'ailleurs été longue et minutieuse par le dépouillement de tous les documents recueillis en Europe, et par l'expérience de dix ans de l'auteur comme Ingénieur colonial. Enfin des questionnaires détaillés, anglais et français, avaient été expédiés d'avance par ses soins pour faciliter la réunion des renseignements à demander. Une partie de la visite fut donc réduite à une simple vérification et à une mise au point des résultats déjà connus.

Il n'a malheureusement pas été possible de voir tous les chemins de fer intéressants à visiter. Il a fallu d'abord éliminer celui de Souakim encore en cours d'exécution et peu accessible; écarter Djibouti et Madagascar qui allongeaient par trop la route, négliger enfin deux ou trois petites voies ferrées allemandes sans importance, et le railway de la Côte d'Ivoire qui ne dépassait pas encore le kilomètre 30. Quant au chemin de fer du Congo belge et à ceux de Dakar et de Kayes, l'auteur les avait déjà vus en 1898 et en 1903-1904. Le temps limité dont il disposait ne lui permit pas de parcourir les lignes en projet. Il n'a vu et voulu voir que les lignes déjà exploitées ou près de l'être, sous les réserves énoncées ci-dessus; c'est surtout sur les lignes étrangères que l'examen porta principalement.

Après ce coup d'œil d'ensemble sur les circonstances qui ont présidé à son voyage, M. Salesses en expose brièvement et à grands traits les résultats principaux.

Égypte. — Voies de 1,44 m jusqu'à Louqsor, et de 1 m de Louqsor à Assouan; les chemins de fer sont alimentés par de petites voies agricoles de 0,60 m et 1 m, dans le Delta, le Fayoum et le long du Nil;

l'agriculture (blé, coton, canne à sucre) s'est extrêmement développée et les digues ou barrages du Caire, d'Assiout, d'Assouan, etc., accroissent encore l'étendue cultivable; le mouvement des touristes est énorme et les tarifs, très bas, concurrencent même la batellerie du Nil. Le réseau égyptien est un réseau à grosses recettes et gros trafic. A Assouan, on rencontre la première cataracte sur un point de laquelle a été construite la célèbre digue à laquelle sir W. Garstin et sir W. Wilson ont attaché leurs noms; on peut la franchir en bateau au moyen des écluses placées sur la rive gauche, ou encore en chemin de fer au moyen de la voie de 1 m qui longe la rive droite du Nil, d'Assouan à Chellal. La digue d'Assouan présente l'inconvénient de noyer l'île de Philoe; peut-être serait-il possible de reconstruire les antiquités de Philœ sur l'île voisine de Bigé dont le niveau est plus élevé; l'offre en a été faite au Service des antiquités de l'Égypte.

D'Assouan et Chellal on se rend à Wadi-Halfa, première ville du Soudan, par bateau à vapeur; il est question de prolonger le chemin de fer de Chellal jusqu'à Wadi-Halfa, bien que le railway de Louqsor à Assouan couvre à peine ses frais. L'utilité de cette ligne est discutable depuis qu'on a construit le railway allant depuis l'Atbara jusqu'à Souakim et Bandar Sudan.

Soudan. — Voie de 1 m, reliant Wadi-Halfa à Khartoum, construite par le lieutenant-colonel sir Percy Girouard; une autre voie de 1 m reliait Wadi-Halfa à Karma, en amont de la deuxième cataracte; de Karma à Dongola et Méroé, le Nil est navigable; mais on va remplacer la voie de Wadi-Halfa à Karma, qui est mauvaise, par une nouvelle ligne allant de Abu-Hamed à Méroé et desservant le district fertile de Dongola; une troisième ligne vient d'être construite entre l'embouchure de l'Atbara, Souakim et Bandar-Sudan (ancien Cheick-Barhud) sur la Mer Rouge; d'autres lignes relieront Bandar-Sudan à Kassala, et cette dernière ville à Khartoum; il est question d'envoyer des embranchements de Khartoum vers Rosairès et le pied des montagnes d'Abyssinie d'une part et vers la province de Ghizé, entre les deux Nils, d'autre part. Tout ce pays du Soudan égyptien s'organise donc d'une manière indépendante de l'Égypte, avec Khartoum comme centre et Bandar-Sudan comme port; il se produit un certain afflux de touristes de janvier à avril; on y recueille beaucoup de gomme et l'on commence à y cultiver du coton, non loin de Berber.

Si le petit tronçon allant d'Abu-Hamed à Wadi-Halfa à travers le désert venait à être coupé, le Soudan serait complètement séparé de l'Egypte. Son organisation n'a rien coûté à l'Angleterre; seule l'Égypte en a fait tous les frais. Il est probable que ce pays, jadis peuplé mais dévasté par les Mahdistes, redeviendra prospère; la main-d'œuvre y est extrêmement bon marché; en outre le fret des bateaux retour de l'Inde et s'arrêtant à Bandar-Sudan sera forcément très bas.

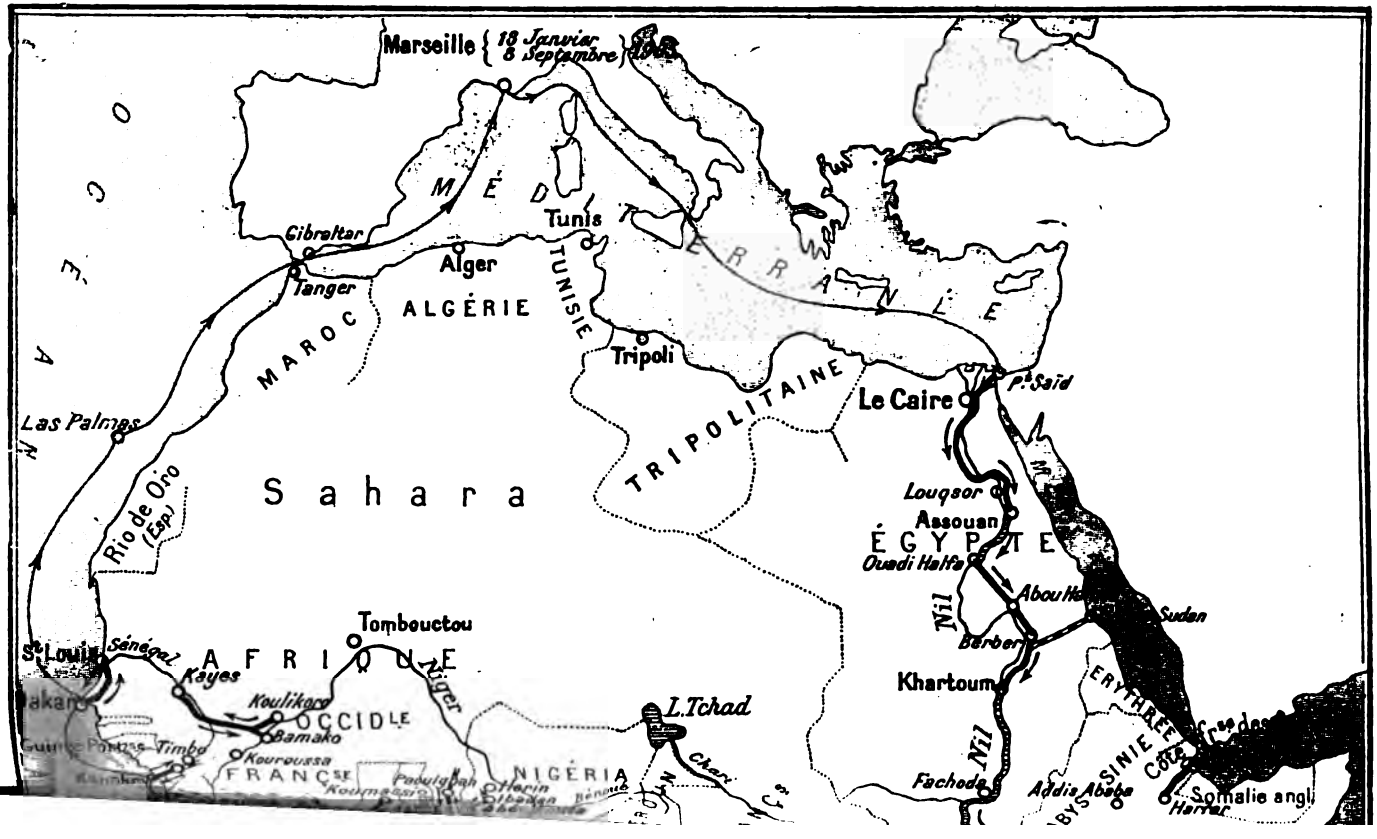
Khartoum a été rebâti et possède un collège remarquable, le Gordon College; la voie ferrée s'arrête sur la rive droite du Nil Bleu, au village d'Halfaya, qu'un grand pont va mettre en communication avec Khartoum; l'on construit des quais pour endiguer le Nil Bleu; en outre, la

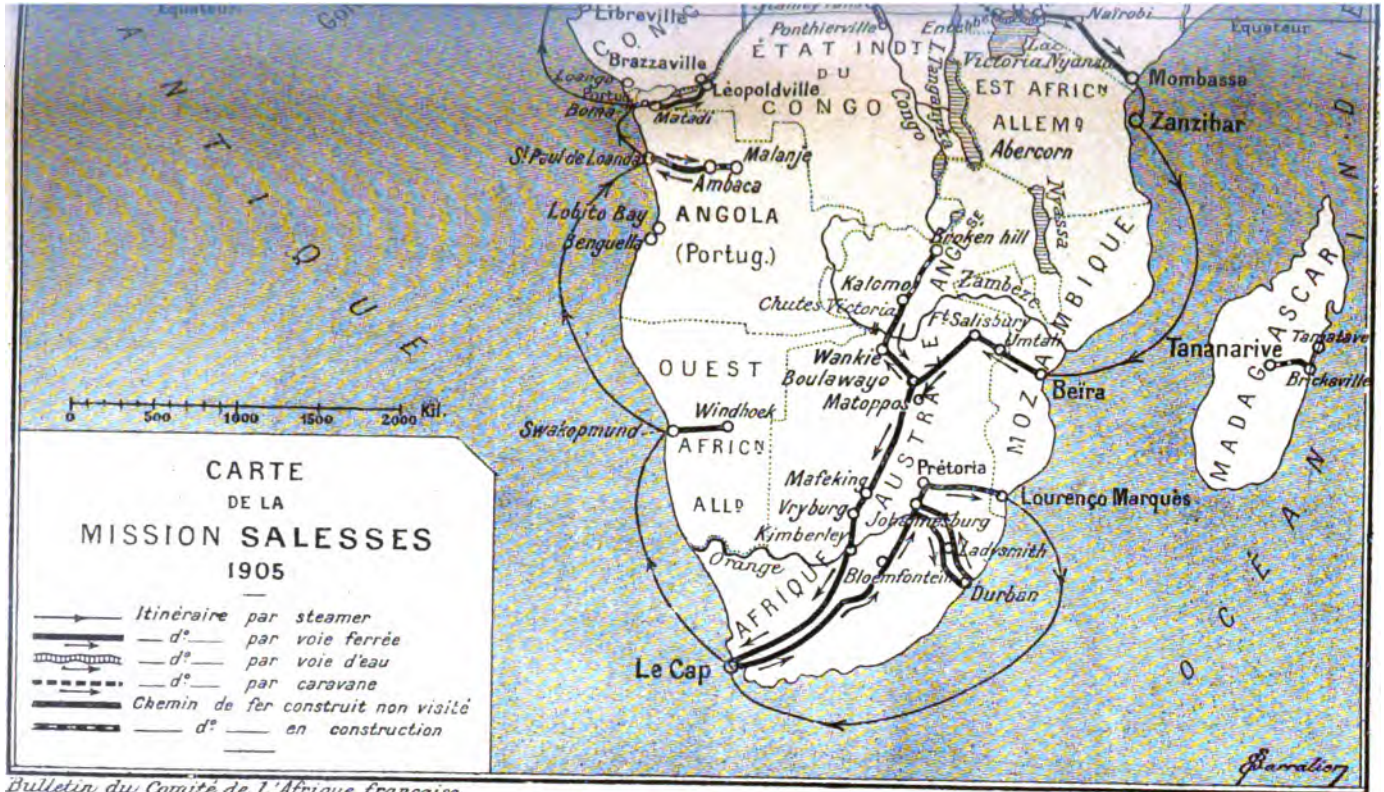
ville d'Omdurman, sur la rive gauche du Nil Blanc, sera mise en communication avec Khartoum par un deuxième pont. M. Salesses a pu visiter le champ de bataille de Kerreri, où ont péri les Mahdistes, le tombeau du Mahdi et les demeures de ses principaux chefs; les anciens guerriers de Mohammed-Ahmed sont devenus aujourd'hui des tirailleurs anglo-soudanais.

Khartoum est relié mensuellement avec Fachoda (Kodok), Tewfikieh (près de l'embouchure du Sobat), Lado (enclave belge) et Gondokoro (1er poste de l'Uganda) au moyen d'un vapeur qui remonte le Nil Blanc en coupant le sedd, barrages d'herbes flottantes qui gênent et obstruent complètement le fleuve entre Tewfikieh et Bor, notamment aux environs du confluent du Bahr el Ghazal. Toute cette partie du Nil est triste, marécageuse et stérile; des bateaux sont installés en permanence sur le Nil, pour y faire ce dur métier de coupeurs de sedd, où les hommes ne doivent pas durer longtemps; on peut voir sur les rives des balœniceps Rex. Le débit du Nil est diminué de moitié par son passage dans cet énorme marécage. Sir W. Garstin a proposé de rectifier son cours par un chenal qu'on creuserait entre Bor et Tewfikieh ; d'autres préfèrent draguer. En tout cas, un railway ne peut longer le Nil dans cette partie, et il devra, si l'on juge sa construction nécessaire, suivre le pied du plateau abyssin à partir de l'Uganda jusqu'au Nil Bleu par Itchang sur le Baro, conformément aux stipulations du traité de délimitation anglo-abyssin.

Uganda. — Ce pays, montagneux et lacustre, d'une altitude moyenne de 1 000 m, contient les sources du Nil Blanc; le fleuve est navigable entre Nimulé (voisin de Dufilé) et l'Albert-Nyanza; le Victoria-Nyanza peut d'autre part porter de gros bateaux, de sorte qu'avec deux voies ferrées, l'une de 150 km entre Gondokoro et Nimulé, l'autre de 300 km entre Butiaba (Albert-Nyanza) et Entebbe (Victoria-Nyanza), on aurait une communication assurée et suffisante le long du Nil, faisant suite au chemin de fer de l'Uganda. La main-d'œuvre est abondante et peu coûteuse. L'Uganda est le pays des éléphants et des hippopotames; mais il n'exporte encore que peu de produits, malgré sa fertilité; on espère y développer le caoutchouc. Les lacs montrent des traces de dessèchement progressif. Il a été question d'établir des barrages sur le Nil, soit aux Ripon Falls à la sortie du Victoria-Nyanza, soit à la sortie de l'Albert-Nyanza, soit enfin au lac Tsana; sir W. Garstin, qui a examiné ces divers points, n'en recommande aucun bien franchement, au moins pour le moment.

Le railway de l'Uganda, de Kisumu (Port-Florence) à Mombassa, a plus de 900 km de longueur; il est à voie de 1 m; on l'a construit très vite, à raison de 200 km par an en moyenne, au moyen d'une main-d'œuvre hindoue qui a coûté fort cher. Si cette rapidité n'avait pas été imposée à l'Ingénieur en chef pour des raisons politiques, on aurait eu le temps de dresser la main-d'œuvre de Zanzibar, de l'Uganda et des autres provinces, on n'aurait pas employé l'expédient coûteux des plans inclinés pour traverser la Rift Valley; et les frais de ravitaillement auraient été moins lourds. Le railway est à voie de 1 m, bien


Marseille { 18 Janvier 8 Septembre
OCÉAN
MÉDITERRANÉE
Gibraltar
Tanger
Alger
Tunis
MAROC
ALGÉRIE
TUNISIE
Tripoli
TRIPOLITAINE
Las Palmas
Rio de Oro (Esp)
Sahara
Le Caire
P.t Said
Louqsor
Assouan
ÉGYPTE
Ouadi Halfa
Abou Ha
Suden
Nil
Berber
Khartoum
Tombouctou
St Louis
Sénégal
Kayes
AFRIQUE
Dakar
Koulikoro
Bamako
OCCIDLE
Guinée Portug.
Timbo
Kouroussa
FRANÇSE
L. Tchad
Niger
NIGÉRIA
Chari
Fachoda
Addis Abeba
ERYTHRÉE
Somalie angl
Harrar



Bulletin du Comité de l'Afrique française.

Reproduction interdite.

construit et bien exploité; il fait ses frais depuis un an, et il est probable que la colonisation européenne pourra s'installer autour de Naïrobi, Naïwasha, Kampala et Hoïma. La ville de Nairobi paraît prospère et bien bâtie. Tout le pays est giboyeux au possible, et le voyageur peut apercevoir du train des troupeaux de gnous, antilopes, gazelles, zèbres, autruches, etc., paissant à peu de distance sans s'émouvoir; on rencontre aussi des rhinocéros, des girafes et des crocodiles énormes.

Mombassa, ville d'aspect Indo-arabe, est une ancienne colonie portugaise dont le fort subsiste encore; elle est située dans une île corallienne et dotée de deux ports. celui de Mombassa et celui de Kilindini; le railway traverse le bras de mer de Kilindini sur un beau pont.

De Mombassa où il avait croisé Lord Milner, M. Salesses se rendit par mer à Zanzibar où il vit Tippoo-Tip avant sa mort, ainsi que le jeune Sultan de Zanzibar.

Afrique du Sud. — De Beïra, dans le Mozambique, on atteint Umtali dans le Manicaland, puis Fort Salisbury, Gwelo et Bulawayo dans la Rhodesia: Umtali est la résidence de M. Wibberley, Directeur général des chemins de fer de la Rhodesia et du Manica, chargé de la continuation du railway du Cap au Caire; — Fort Salisbury est la capitale administrative; Gwelo un gros centre minier, et Bulawayo le centre commercial de la Rhodesia. Toutes ces villes sont bien bâties, peuplées d'Européens et dotées d'un climat tempéré; elles ont un bel avenir devant elles. De Bulawayo, après une visite rapide en automobile aux Matoppos pour contempler la World's view et la tombe de Cecil Rhodes, M. Salesses alla visiter les charbonnages de Wankie et les chutes Victoria sur le Zambèze; ces dernières sont une véritable merveille, triple de la cascade du Niagara comme volume et comme hauteur; elles occupent le terminus d'un couloir profond, en zigzag, qui paraît avoir été constitué par des emplacements successifs de la cascade actuelle, laquelle va en reculant constamment; ces chutes ne sont pas l'effet d'un cataclysme local, comme Livingstone l'a pensé, mais sont dues à la préexistence de cassures dans la roche volcanique sous-jacente, que le fleuve débite par morceaux en creusant un chenal dans la direction de son courant qui est oblique et brisé; par conséquent la cascade est toujours accompagnée en amont d'un chenal oblique à elle, caché par les eaux et s'approfondissant constamment jusqu'à ce qu'enfin il reçoive toute l'eau de l'amont et forme chute à son tour, l'ancienne étant mise à sec; le même travail reprend ensuite en amont de la nouvelle chute.

Les Victoria Falls sont franchies par un pont splendide, dont les plans sont dus à MM. Hobson et Fox; il a été construit par la Cleveland Bridge and Engineering Compagny de Darlington, et le montage effectué par un ingénieur français, M. Imbault. Ce pont est constitué par un seul arc métallique de 317 m d'ouverture et 140 m de hauteur; il a été monté en 5 mois et demi seulement, et venait d'être terminé au moment de l'arrivée du voyageur.

Au delà du Zambèze, le rail se dirige vers Kalomo et la rivière Kafué qu'il a atteinte dès maintenant; on compte arriver cette année au centre minier de Broken Hill; au delà de Broken Hill, il est

probable que la voie se bifurquera d'une part vers les mines de Katanga et d'autre part vers le centre minier d'Abercorn, au sud du Tanganyika. La vitesse d'avancement est extraordinaire ; elle atteint 500 km par an en moyenne, et l'on peut poser jusqu'à 5 km par jour, ce que l'auteur a pu vérifier *de visu*, grâce à la bienveillance de M. M. Pauling, entrepreneurs chargés de la construction, et de M. Lawley, leur ingénieur. Les procédés employés sont d'origine américaine, et leur introduction est due en partie à sir Charles Metcalfe qui est l'inspirateur des railways de la Rhodesia.

Le retour de Bulawayo au Cap, s'est effectué par Mafeking et Kimberley où M. Salesses visita les mines de diamants. Après avoir vu les ateliers de Salt River, le chemin de fer agricole à voie de 0,75 m de Kalabas Kraal à Hopefield (près de Saldanha Bay), le chemin de fer de montagne de Caledon, etc., M. Salesses reprit le train pour Johannesburg où il visita les mines d'or, puis pour Pretoria où se trouvent les ateliers des Transwaal Railways. De Johannesburg à Durban la ligne traverse une belle contrée montagneuse pleine de fermes et de mines de charbon, théâtre de la guerre des Anglais et des Boers ; Durban est une belle ville, et le chemin de fer du Natal, comme celui de Prétoria à Lourenço Marquez, est extrêmement pittoresque ; ce dernier possède même une crémaillère entre Waterval boven et Waterval onder.

Johannesburg est en ce moment relié à Kimberley par une ligne directe, et va l'être, par une autre ligne directe très courte, à Lourenço-Marquez ; il s'annonce comme le centre futur de l'Afrique du Sud.

Que dire du chemin de fer du Cap au Caire ? Cette formule a toujours paru critiquable ; en réalité toutes les colonies africaines versent à la mer ceux de leurs produits qui sont destinés à l'Europe ; ce chemin sera toujours plus court et meilleur marché, même pour les voyageurs. Toutes les colonies africaines doivent donc être dotées d'un railway allant vers un bon port par le chemin le plus court. Mais à un autre point de vue le trafic peut être intérieur, c'est-à-dire s'échanger d'une colonie à sa voisine ; il peut donc être utile à ce point de vue de construire une ligne pour relier toutes ces colonies et pour former une chaine de tous ces anneaux isolés ; cela est utile encore au point de vue politique, afin de créer entre ces colonies une solidarité, des sentiments et des intérêts communs. Mais si l'on suppose un seul anneau manquant, la chaine se rompt et n'a plus raison d'être ; il faut aussi que toutes les colonies soient aptes au peuplement européen.

Sous la formule Cap-Caire se cache donc une réalité profonde, qui est l'existence entre le Cap et l'Abyssinie d'une suite à peu près continue de hauts plateaux et de contrées montagneuses habitables pour l'Européen ; l'Angleterre a eu la bonne fortune et la prévoyance de s'emparer de la plus grande partie de ces contrées et d'ancrer son influence en Abyssinie ; si l'Allemagne cédait aux Anglais la vallée de la Kagera, la chaine serait complète et le chemin de fer du Cap-Caire deviendrait une réalité. Il va sans dire qu'il faut admettre, avec Lord Cromer, l'utilisation des bateaux à vapeur là où l'on dispose d'une voie lacustre ou fluviale et où le commerce est encore à l'état naissant.

Un autre point à signaler, c'est la création en Afrique du Sud d'un

type de chemin de fer pionnier, si l'on peut dire, intermédiaire entre nos voies presque parfaites et les sentiers sauvages de l'Afrique tropicale; ces railways sud-africains ont en moyenne une vitesse de 10 milles à l'heure, soit 15 km; on y couche et même on y dîne, à moins qu'on ne s'arrête à des restaurants installés le long de la voie par les Compagnies. Le matériel roulant est bon; les voies sont imparfaites, rapidement établies et rapidement posées, avec des stations souvent grossières.

Mais le tout suffit pendant longtemps aux premiers besoins, et on le perfectionne peu à peu; nous devrions nous inspirer de cet exemple dans nos colonies africaines.

Afrique Occidentale. — De Lourenço-Marquez, M. Salesses se rendit dans l'Angola portugais, à St-Paul-de-Loanda, où l'industrie française trouverait une clientèle. Le railway de St-Paul-de-Loanda à Ambaca, à voie de 1 m, sur 360 km de longueur environ, se dirige sur Malange, Kassange et la rivière Kwango, affluent du Cassaï et sous-affluent du Congo; il fait à peu près ses frais. Une autre voie ferrée, concédée à la Compagnie anglaise de M. Robert Williams, part de Lobito Bay près de Benguella, et se dirige sur les mines de cuivre du Katanga et sur les Victoria Falls; quand elle sera terminée, on pourra se rendre d'Europe à Lobito bay, port excellent, et de Lobito bay à Johannesburg sans passer par le Cap; on pourra en outre aller de Lobito Bay à Beïra par Bulawayo, et ce sera la première transversale africaine. Un troisième railway à voie de 0,60 m part de Mossamédès.

Les chemins de fer du Kamerun n'existent pas encore, et on ne trouve au Togo qu'une voie de 40 km entre Lomé et Anecho. Rien n'a encore été fait entre Old Calabar et Onitsha; mais de Lagos, un railway se dirige vers Abéokuta, Ibadan et Oshogbo; d'Oshogbo on compte atteindre Ilorin et le Niger, de façon à desservir Kano et Kouka. En attendant, cette ligne, qui est à voie de 1,067 m, fait largement ses frais et prospère, malgré les défauts du port de Lagos; la barre rend en effet l'accès de ce dernier port très difficile; elle oblige à des transbordements coûteux, soit en pleine mer, soit à Forcados; il faudrait améliorer ce port, destiné à un grand avenir. A noter que la branche nigérienne d'Akassa s'est fermée et que celle de Forcados seule subsiste pour la navigation. Le pays qui s'étend entre la Côte d'Or et le Gabon est le principal centre d'exportation de l'huile de palme, que des petits vapeurs vont cueillir dans les rivières et amènent aux gros steamers dans les ports principaux.

Lagos communique avec le Dahomey, Porto-Novo et Cotonou par une lagune; le chemin de fer de Cotonou à Paouignan marche bien et fait ses frais; on compte le pousser jusqu'à Savalou et peut-être même jusqu'au Niger; mais il faut s'attendre à ce que le trafic entre Savalou et le Niger soit fort minime, de sorte que cette portion du railway sera surtout militaire et politique; la rive française du Niger est en effet aride, et la seule région productrice est la rive gauche qui est anglaise.

A Sekondi, un railway se détache de la côte pour atteindre Tarkwa et Coomassie. Ce railway fait à peu près ses frais ou ne tardera pas à

les faire, car les mines d'or commencent à rendre, et l'on exporte beaucoup d'acajou. Une ligne allant d'Accra à Aburi et la Volta est en projet; l'écartement est le même qu'à Lagos.

De Sekondi, M. Salesses gagna Sierra Leone, doté d'un chemin de fer de montagne qui transporte journellement les Européens sur les hauteurs voisines, les séparant ainsi durant la nuit des familles indigènes qui sont des réservoirs d'hématozoaires; cette colonie possède un deuxième railway qui va desservir le Liberia; son terminus actuel est Baiima, à 15 km de la frontière; il traverse une région de palmistes assez riche, et commence à faire ses frais; malheureusement son écartement n'est que de 0,75, ce qui réduit beaucoup sa capacité de trafic.

L'avant-dernière étape du voyage fut le chemin de fer de Konakry, créé par M. Salesses, dont le rail atteint le km 180; certainement l'année ne se terminera pas avant que le km 200 ait été atteint. L'auteur considère ce railway comme la future grande artère de l'Afrique occidentale car le port de Konakry, situé à 10 ou 12 jours seulement de la France est bon et bien fréquenté, et n'est plus menacé par les îles de Los, sur lesquelles on construit en ce moment un phare et un sémaphore; le fret y est bon marché à cause du voisinage de Sierra Leone et de Dakar; la ville est dotée d'une grande quantité d'eau amenée par une conduite de 41 km; la population de l'Hinterland est assez dense (7 habitants par km carré), douce et maniable, suffisamment travailleuse et fournit une main d'œuvre assez bon marché; on n'a jamais vu la fièvre jaune dans le pays, et, si le cas se produisait, les hauteurs que gagne dès maintenant le railway mettraient la population à l'abri. Pas de barre à craindre; pas de crue dont l'absence suspende tout trafic comme cela s'est produit pour le Sénégal; le Niger sera atteint en toute saison par une ligne de 600 km, tandis que la voie Dakar-Thiès-Kayes-Bamakou en compterait 1 300. D'autre part la latitude moyenne du railway correspond bien avec celle des centres producteurs actuels, la sécheresse et l'improductivité augmentant rapidement au fur à mesure qu'on s'éloigne du 10e parallèle vers le Nord. Les plateaux du Foutah-Djallon sont assez propices à l'Européen; l'on pourrait y installer les troupes, les bureaux, ainsi que des jardins d'essai ou des fermes. Enfin, il n'existe aucun autre chemin de fer en Afrique occidentale dont l'achèvement doive coûter relativement aussi peu et aboutir aussi vite; il suffirait en effet d'une somme de 30 millions pour arriver fin 1909 à Kouroussa, si les propositions de l'auteur sont acceptées. Il convient d'ajouter que la Guinée, n'ayant ni fleuves navigables ni bêtes de somme, ne peut se passer de cette ligne, et que c'est là le seul moyen de réduire le portage.

Conclusions. — La voie ferrée est le grand moyen de civilisation en Afrique, comme elle l'a été en Amérique : elle donne une solution complète et immédiate du problème des transports, et permettrait d'administrer et d'exploiter de grands pays comme le Congo sans recourir au portage et à ses abus. D'autre part toutes les lignes d'Afrique, même celles qui n'ont pas été très heureuses au début comme prix de construction, sont parvenues à se tirer d'affaire et à réaliser des bénéfices, sans parler des lignes à prospérité brillante comme celles de l'Egypte et

du Congo belge. « Construisons donc beaucoup de chemins de fer, dit » M. Salesses en terminant, et, quant à la voie à adopter, je préconi- » serais l'écartement de 1 m, les rails de 25 kg avec traverses d'acier » embouties de 36 à 40 kg, les pentes limitées à 25 mm net et les » courbes limitées à 125 m de rayon ; c'est ce type de voie qui me semble » avoir aujourd'hui la préférence en Afrique. »

M. le Président remercie M. Salesses du récit de son intéressant voyage à l'intérieur et autour de l'Afrique. On peut, au simple examen de la carte, se faire une idée assez nette des distances parcourues par M. Salesses en prenant comme repères les longueurs bien connues du canal de Suez (160 km), de la ligne de Wadi-Halfa à Abou-Hamed (environ 400 km) à peu près égale à la longueur de la nouvelle ligne de Port-Soudan à Berber et un peu inférieure à la grande traversée du lac Tanganyka. On remarquera combien l'Est-Africain, où nous ne sommes représentés que par la ligne de Djibouti au Harrar, diffère, au point de vue des chemins de fer, de l'Ouest-Africain où abondent nos territoires.

La ligne de Dakar à St-Louis est la dernière qu'on rencontre en suivers le Nord la Côte occidentale ; entre le Sénégal et l'Algérie, il n'existe encore aucune voie ferrée.

Quel que soit le résultat des pourparlers dans lesquels cette partie de l'Afrique est actuellement en jeu, il est fort probable que la question des chemins de fer y aura été sous-entendue.

Dans quelques années, M. Salesses aura sans doute l'occasion de s'en assurer, et de compléter ainsi son travail d'ensemble sur les chemins de fer africains.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. J. Becker, P.-M.-H.-H. Delastre, P. Espinasse, A.-J.-B.-A. Mejean, J.-F. Millot, Ch.-B. Millot, L.-A. Racapé, A.-J. Rounazeilles, G. Thuillier comme Membres Sociétaires Titulaires ; et de

MM. E.-M.-E. Fichet et A.-E. Sellier comme Membres Sociétaires Assistants.

MM. G. Brunon, P. Darteyre, P. Dieudé-Defly, F. Godard, E.-P. Liot, G. Tournier sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires et M. J.-Ch.-M.-G. Pierrot-Deseilligny comme Membre Sociétaire Assistant.

La séance est levée à 10 heures trois quarts.

L'un des Secrétaires techniques,
J.-G. Bousquet.

LES TURBINES A GAZ

PAR

M. L. SEKUTOWICZ

PREMIÈRE PARTIE

DÉFINITION ET HISTORIQUE DES TURBINES A GAZ

Nous désignerons sous le nom de turbines à gaz les machines thermiques dans lesquelles la chaleur est transformée en travail mécanique par la détente d'un mélange de gaz agissant sur l'organe mobile d'une turbine.

Le fluide moteur pourra se composer soit d'air comprimé plus ou moins chaud, soit des produits de la combustion (ou de l'explosion) d'un corps solide, liquide ou gazeux. Il pourra agir par sa pression ou par sa force vive.

La turbine pourra donc être une turbine d'action ou une turbine à réaction, elle sera à étages de pressions ou à étages de vitesses et comprendra une ou plusieurs roues mobiles.

Nous nous proposons d'étudier dans ce travail les principaux systèmes de turbines à gaz essayés, proposés, ou imaginables. Nous rechercherons par une analyse méthodique les conditions que doivent réaliser ces machines et les résultats que l'on en peut attendre.

A cet effet, après un historique succinct de la question, nous étudierons au point de vue thermodynamique les diverses combinaisons imaginables en les soumettant à un examen critique comparatif. La troisième partie de cette étude sera consacrée à l'étude de la turbine proprement dite et la quatrième aux principaux accessoires (compresseurs, chambres de combustion, tuyères, roues mobiles, récupérateurs, etc...).

La première idée des turbines à gaz remonte au moins à 1847. A cette date M. Burdin, Ingénieur en chef des Mines et correspondant de l'Institut, a proposé de construire une turbine à air chaud, à roues multiples, utilisant comme compresseur une série

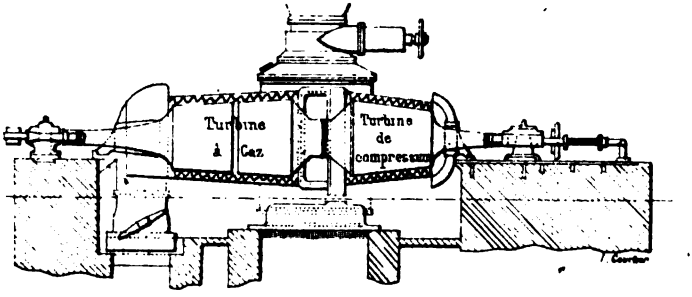
de ventilateurs, de construction analogue à celle de la turbine, et couplés en tension (1).

En présentant ces recherches à l'Académie des Sciences en 1853, Tournaire exposait avec une remarquable sagacité les difficultés pratiques de réalisation des turbines à gaz et aussi « la révolution complète qui se trouverait accomplie en cas de succès, non seulement sous le rapport de la quantité de combustible consommée, mais encore sous le rapport non moins important des masses et des volumes entrant dans la construction des machines ».

L'honneur d'avoir tracé la voie revient donc à ces savants français, malgré les illusions dont se bercent encore quelques techniciens allemands contemporains dont les travaux sont beaucoup plus récents. Cependant la question est à peine entrée, aujourd'hui encore, dans la période de construction et d'essais industriels en dépit des recherches théoriques qui se poursuivent en France, aux États-Unis, en Angleterre et en Allemagne.

Les essais parvenus à notre connaissance sont ceux de la General Electric C° aux États-Unis, ceux de la Société Stolze en

Fig. 1 - TURBINE A GAZ STOLZE



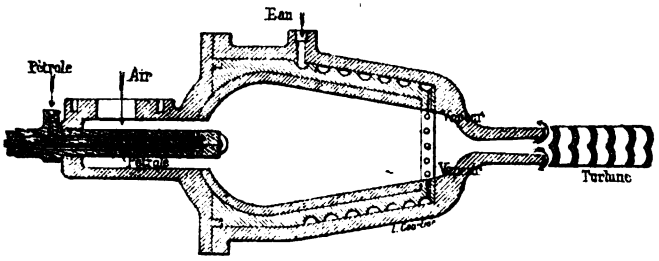
Allemagne et ceux de MM. Armengaud et Lemale en France. Mais aucun résultat d'essais n'a encore été publié. La turbine Warmont exposée en 1900 ne fonctionnait pas. C'était une turbine genre de Laval qui devait être alimentée par un mélange d'air chaud et de vapeur d'eau. La machine de MM. Armengaud et Lemale a été décrite dans *l'Eclairage Électrique* en novembre 1904 et dans *le Génie Civil* en décembre 1905. D'après cette dernière description la combustion s'effectuerait sous pression constante

(1) Voir le résumé du mémoire de Tournaire dans Soskowski. — *Roues et turbines à vapeur*. Paris, Béranger, 1904.

dans une chambre réfractaire suivie d'une tuyère métallique refroidie par une injection d'eau. La vapeur produite serait, soit mélangée aux gaz de la combustion, soit envoyée séparément sur la même roue mobile qui recevrait en outre la vapeur produite dans un récupérateur aux dépens de la chaleur des gaz de l'échappement.

D'après la communication de M. Armengaud au Congrès de Liège de 1905, les essais se poursuivraient avec une turbine genre Curtis de 400 ch [alimentée par un ventilateur-compresseur multicellulaire Rateau. Le combustible est du pétrole pulvérisé. Dans les premiers essais exécutés avec une turbine de Laval desservie par un compresseur rapide à 10 kg, les gaz

Fig. 2 - CHAMBRE DE COMBUSTION DE LA TURBINE A GAZ
ARMENGAUD ET LEMALE



échappant à 400 degrés, la turbine aurait produit une puissance double de celle absorbée par le compresseur.

Enfin la Gesellschaft für Electrische Industrie, de Karlsruhe a communiqué à l'auteur quelques renseignements sur la turbine à air comprimé du type Electra qu'elle construit pour des puissances de 25 à 160 ch.

Alimentées d'air à + 15 degrés à une pression de 4 à 7 kg, ces machines laisseraient échapper l'air à — 56 degrés, tandis que la température théorique serait inférieure à — 81 degrés.

Malheureusement les chiffres fournis ne permettent pas de calculer le rendement.

Une machine de ce genre a été exposée à Liège en 1905.

La Bliss C° de Brooklyn a construit une torpille actionnée par une turbine à air comprimé de 110 ch, à 1200 tours. L'air est emmaganisé sous une pression de 150 atm. La torpille a réalisé une vitesse de 36 nœuds (1).

(1) *Iron Age*, 14 décembre 1905, Étude de M. BURR sur *les torpilles*.

Voilà à peu près tout ce qui a été publié jusqu'à la fin de 1905 sur des résultats pratiques d'essais de turbines à gaz.

Par contre, la littérature technique commence à être assez riche en travaux théoriques sur cette question. Mais les auteurs qui se sont occupés soit des moteurs à gaz, soit des turbines à vapeur expriment en général un certain scepticisme sur l'avenir réservé aux turbines à gaz. Au contraire, les spécialistes de cette question comme M. le professeur Neilson (de Manchester), les techniciens allemands MM. Barkow, Mewes, Gentsch, Schreber, etc., font ressortir les rendements élevés que l'on peut espérer réaliser et s'appuient de l'autorité de quelques maîtres pour prédire à la turbine à gaz un brillant succès.

Jusqu'à présent aucune discussion systématique et complète dans le genre de celle tentée dans le présent travail n'avait encore paru. Mais M. Bauman (de Zwickan) a commencé à publier, en décembre 1905, une étude analogue dans laquelle il se basera, autant qu'on en peut juger par le premier article de la série, sur des hypothèses et des données numériques concordant assez bien avec les nôtres (1).

Enfin les brevets concernant les turbines à gaz fournissent déjà une documentation si touffue qu'il nous est impossible de présenter un historique de ces inventions. On a vu que l'idée maîtresse est déjà ancienne. La plupart des brevets publiés sont des brevets de principe décrivant des systèmes de turbines. Très peu s'occupent des détails de construction, ce qui n'est pas surprenant puisque l'on n'est pour ainsi dire pas entré dans la période de réalisation.

Les systèmes ainsi proposés peuvent se diviser en deux grandes classes :

1° Systèmes basés sur le principe des moteurs a explosion.

Nous ignorons le nom du premier inventeur qui s'est dirigé dans cette voie. Le professeur Lorenc paraît croire que ce serait M. Nordenfeldt. En fait les brevets de Nordenfeldt et Christophe (Paris 1894) se rapportent à des turbines à explosion aspirant le mélange combustible dans une chambre sans soupape en aval. Il n'existe qu'une soupape, à l'aspiration. Les gaz de l'explosion agissent sur la roue mobile d une turbine genre de Laval. Dans

1) Voir *Zeitschrift für das gesemmte Turbinenwesen*, 15 décembre 1905 et suivants.

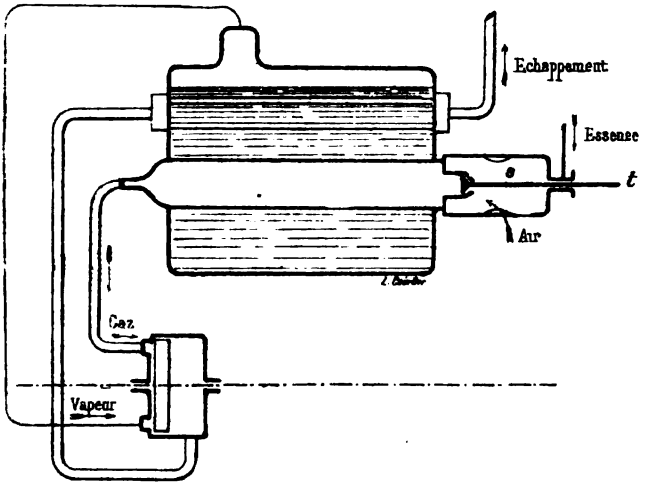
un des brevets la chambre d'explosion chauffe une chaudière dont la vapeur est envoyée séparément sur la même roue mobile.

Mais avant Nordenfeldt, Peer (de Brooklyn) a fait breveter en 1890 une turbine à explosion avec compression préalable, sans soupape d'aval. Peut-être existe-t-il des brevets plus anciens.

En tout cas dans la série de brevets publiés par M. le Regierungsrath W. Gentsh (1), nous trouvons des brevets de turbine à explosion encore antérieurs, mais basés sur l'emploi de roues à réaction à chambres d'explosion mobiles. C'est le cas de la machine brevetée, à Bruxelles, en 1881 par Van der Kerkhove et Snyers, et qui ne comporte aucune soupape.

Fig. 3

TURBINE NORDENFELDT A ASPIRATION DE L'AIR PAR LA TURBINE MÊME



La tige t de la soupape d'aspiration automatique S sert de pompe à essence et en même temps de canal d'amenée de l'essence.

On a encore pris au cours des toutes dernières années un assez grand nombre de brevets concernant des turbines à explosion, en particulier les brevets Colemann (1900), Huet (1901), Sidon (1902), Courtin, Massion (1902) etc., etc. Dans plusieurs de ces brevets on revient à l'emploi d'une soupape d'aval pour fermer la chambre d'explosion pendant son remplissage de mélange frais.

Disons de suite que si, dans une turbine à explosion, on n'em-

(1) *Z. für das gesemmte Turbinenwesen*, 1904-1905.

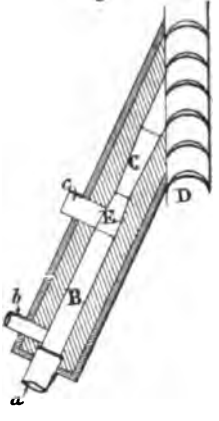
ploie pas de soupape d'aval, on ne peut pas admettre de bien fortes compressions initiales et l'on s'expose à des pertes importantes de mélange combustible. Si, au contraire, on emploie une soupape, la présence du métal, en aval de la chambre de combustion, *mais avant la détente*, limite le maximum de température admissible dans une mesure telle que le rendement devient beaucoup trop faible. Enfin le régime d'écoulement variable résultant d'une série d'explosions ne peut être que désastreux au point de vue du rendement hydraulique de la turbine. On s'en rendra compte en étudiant plus loin le régime de l'écoulement dans les tuyères.

Les turbines à explosion ne sont donc pas intéressantes, du moins lorsque le rendement importe au constructeur.

2° Systèmes basés sur le principe des moteurs a combustion.

L'idée première de ces machines appartient à Burdin et Tournaire. Mais il semble que le premier brevet décrivant un dispositif bien défini soit celui de M. de Laval (Stockholm 1893). Le célèbre inventeur de la turbine à arbre flexible proposait d'envoyer par un tuyau *a* de l'air comprimé dans une chambre de combustion B qui recevait par *b* le combustible liquide pulvérisé. La chambre de combustion était immédiatement suivie de la tuyère de détente C conduisant les gaz brûlés sur la roue mobile D. M. de Laval prévoyait la possibilité d'une injection d'eau en C. Il comptait réaliser la chambre de combustion et la tuyère en terre réfractaire ou en porcelaine sans refroidissement artificiel.

Fig. 4



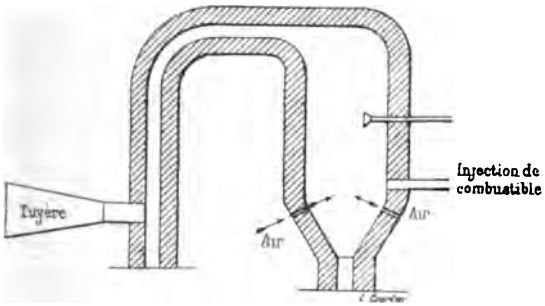
On n'a rien proposé de mieux depuis comme dispositif général et nous dirons de suite que le dispositif ainsi défini nous paraît être le type idéal de la turbine à gaz, dont il ne constitue d'ailleurs que le principal élément. Le brevet de Laval était muet en effet, croyons-nous, quant aux organes de compression de l'air et d'injection du combustible.

Cook (Londres, 1896) a proposé l'emploi comme combustible de charbon pulvérisé injecté dans une très grande chambre en maté-

riaux réfractaires d'où les gaz chauds et comprimés se rendraient dans les tuyères d'une turbine.

Fig. 5

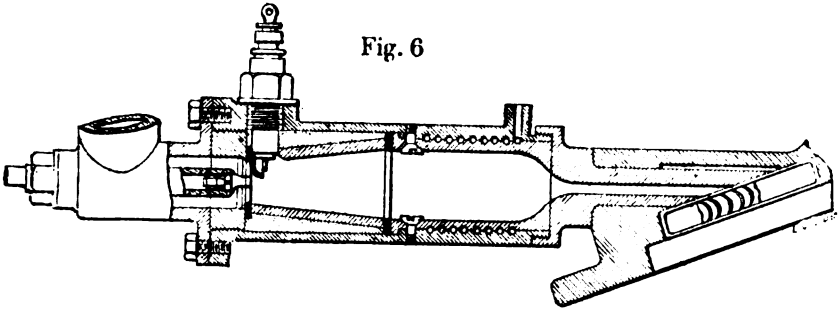
TURBINE COOK A ÇOMBUSTION (1896)



Dans un brevet *Hayot* (Lerouville, 1897) nous trouvons mention du réchauffage de l'air comprimé par les chaleurs perdues des gaz de l'échappement. Pour le reste la turbine est munie d'une chambre de combustion par tuyère.

En *1901* M. *Marque* fait breveter une turbine à combustion continue avec injection d'eau. La même année M. *Lemale* prend un premier brevet dans lequel une chambre de combustion

Fig. 6



unique est suivie d'un réservoir de grande capacité desservant les tuyères, l'inventeur pensant empêcher par ce moyen l'élévation de température d'augmenter la pression. En 1903, M. Lemale (1),

(1) M. Bonjean et la Société des vélocipèdes Clément ont proposé dès 1895 l'adaptation à une turbine d'un générateur à combustion intérieure formé d'une chambre métallique à circulation d'eau ressemblant à celle représentée *(fig. 6)*. Mais sans enveloppe réfractaire intérieure. Le pétrole injecté par un brûleur était enflammé par une lampe extérieure et une masse maintenue au rouge par la combustion servait aux rallumages. La vapeur produite était injectée dans la chambre de combustion.

s'apercevant sans doute que cette surpression est imaginaire, supprime la chambre d'expansion et alimente directement chaque tuyère par une chambre de combustion distincte. L'inventeur se propose d'atteindre 2 000 degrés dans la chambre de combustion et, ne comptant employer qu'une détente totale insuffisante, il refroidit le mélange par une injection dans la chambre de combustion. A cet effet de l'eau est refoulée dans une double enveloppe d'où elle passe dans la chambre à l'état de vapeur surchauffée. Dans ce dispositif la tuyère est en métal. La limite haute de température du cycle est donc inférieure à 2 000 degrés cette température ne régnant que dans le brûleur *(fig. 6)*.

En *1902* M. Zoelly a pris un brevet de principe dans lequel il revendique le principe des turbines à combustion avec compression. Il revendique en même temps l'adaptation d'une turbine à vapeur froide pour utiliser les calories emportées par les gaz de l'échappement.

Dans la plupart des brevets que l'on vient d'énumérer il n'est pas fait mention d'une façon spéciale du dispositif préconisé pour réaliser la compression. Au contraire ce dispositif constitue la base du brevet *Stolze* de 1899, autour duquel les techniciens allemands font depuis quelque temps un certain bruit probablement par suite de leur ignorance des travaux de Burdin et Tournaire. M. Stolze revendique en effet l'emploi d'un compresseur formé lui-même d'une turbine ou d'un ventilateur multicellulaire, genre Rateau, accouplé directement sur l'arbre même de la turbine à gaz. Pour le reste il s'agit d'une turbine à combustion avec tuyères d'injection et disques multiples.

Nous ne citerons pas les très nombreux brevets pris depuis cinq ans par des inventeurs de turbines à gaz. On en trouvera une liste dans l'ouvrage de M. Graffigny.

D'autre part M. Gentsh a consacré plusieurs articles à la description de ces brevets. La *Revue de Mécanique* et le *Journal des Ingénieurs allemands* donnent régulièrement un résumé de ces nouveaux brevets.

On peut dire en résumé que presque toutes les combinaisons imaginables ont été proposées (même l'accouplement d'une turbine à un moteur à explosion à piston : Desaint et Lemale, 1900) même la marche à l'air chaud chauffé par un foyer extérieur : (Knorring et Nadrowski 1900).

Mais les quelques brevets résumés ci-dessus suffisent à donner une idée d'ensemble des principaux dispositifs exécutables (1).

Dès le premier abord la turbine à gaz présente des avantages capables de séduire les chercheurs. L'absence de surfaces frottantes, la possibilité de n'envoyer les gaz sur l'organe mobile qu'après leur refroidissement par la détente, permettent de réaliser un rendement thermique élevé. Les autres qualités des turbines à vapeur : faible encombrement, simplicité, etc., se retrouveront dans les turbines à gaz.

Mais on ne peut se dissimuler que la grande difficulté pratique résultera du compresseur dont l'importance sera, comme on le verra, relativement considérable tant au point de vue de la puissance absorbée que de l'encombrement.

Seule une discussion méthodique et complète va nous permettre de conclure à ce sujet. Cette discussion n'est possible que depuis la vulgarisation des travaux de MM. Rateau, Delaporte, Lewicki, Stodola, Proell, etc., et depuis que le succès des moteurs Diesel a rappelé l'attention sur les avantages des moteurs à combustion un peu négligés depuis les essais si intéressants de notre compatriote Gardie en 1885.

(1) L'auteur a reçu dernièrement de notre collègue M. Canovetti, Ingénieur des Arts et Manufactures, une brochure dans laquelle cet ingénieur revendique l'idée de l'adaptation de la turbine de Laval, dont il a proposé dans un Mémoire paru en 1894 de faire dériver une turbine à gaz.

SECONDE PARTIE

ÉTUDE THERMODYNAMIQUE DES TURBINES A GAZ

Comme toutes les machines thermiques, les turbines à gaz mettent en jeu pendant l'unité de temps une masse donnée d'un fluide déterminé évoluant entre certaines limites de température et de pression.

Pour que l'évolution puisse se prêter au calcul il faut que chacune de ses phases soit simple, c'est-à-dire caractérisée par la constance de l'une des variables indépendantes dont dépend à chaque instant l'état du fluide, savoir : le volume, la pression, la température et l'entropie.

La *phase de compression* sera donc soit adiabatique soit isothermique. *L'introduction de chaleur* sera soit isothermique (cycles de Carnot et dérivés) soit isobarique (combustion sous pression constante) soit isoplérique (combustion sous volume constant : explosion). *La détente* sera adiabatique. Enfin la *cession de chaleur à la source froide* ne pourra guère être qu'isobarique, ou isothermique (cycle de Carnot).

Les phases les plus importantes sont les deux premières, car les deux dernières ne peuvent pas donner lieu en pratique à des variantes.

En effet, dans les turbines à gaz la détente sera très rigoureusement adiabatique et la cession de chaleur à la source froide ne pourra se faire qu'à pression constante dans un récupérateur ou, ce qui revient au même au point de vue du cycle, par non-fermeture du cycle.

Nous aurons donc six variantes principales. En outre, il y aura lieu d'examiner les cycles de Stirling et d'Ericson dans lesquels les adiabatiques de Carnot sont remplacées par des isodiabatiques et les cycles à récupération qui en dérivent. Enfin nous devrons étudier l'effet d'une injection d'eau ou de gaz froids.

On ne considère trop souvent dans l'étude des machines thermiques que les limites extrêmes de température du cycle. Il en résulte une comparaison abusive avec le cycle de Carnot, comparaison insuffisante en tout cas pour apprécier un mode d'évolution. Ce qui nous importe en effet c'est la valeur du rendement thermique ρ, du rendement mécanique η et de l'effet utile total $\rho\eta$ qui en est le produit.

Or, comme on va le voir, ce ne sont pas toujours les limites extrêmes de température admissibles qui limitent ces rendements. D'autres facteurs non moins importants sont à considérer. Ce sont dans notre cas : les limites de pression, le rapport du travail de compression au travail utile et la quantité de travail utile produite par kilogramme d'air.

La *limite inférieure de la température* est celle de l'atmosphère soit environ, et pour simplifier, 300 degrés absolus. Mais la *température finale de la détente* sera généralement plus élevée. Sa valeur joue un rôle capital car c'est la température du gaz envoyé sur l'organe mobile métallique.

Nous admettons que ce dernier supportera sans inconvénient 700 degrés absolus. La pratique a d'ailleurs démontré l'exactitude de cette appréciation. Dans toutes les comparaisons qui vont suivre, on admettra que la température finale de la détente est constamment de 700 degrés sauf à examiner ensuite l'effet d'une variation de ce facteur.

La *limite supérieure* de la température est déterminée, d'une part, par la résistance à la chaleur des matières réfractaires que l'on peut employer non seulement à la construction de la chambre de combustion, mais encore à celle de la tuyère de détente. Il existe des matières comme le carborundum qui peuvent résister aux plus hautes températures réalisables.

Dans ces conditions la température maxima est limitée par cette double condition :

1° De ne donner lieu en fin de détente, vu le degré de détente dont on dispose, qu'à une température finale au plus égale à 700 degrés absolus.

2° De pouvoir être réalisée par l'emploi des combustibles usuels avec une quantité d'air suffisante pour assurer une combustion complète.

La combustion sous volume constant donne lieu comme on sait à une plus grande élévation de température que la combustion sous pression constante. D'autre part lorsque la compression est adiabatique les gaz sont portés avant la combustion à une température plus ou moins élevée (qui atteindrait 800 degrés absolus pour une compression de 30) ce qui élève d'autant la température de combustion.

Par exemple le gaz d'éclairage exige théoriquement 5,5 fois son volume d'air pour obtenir nne combustion parfaite. En

admettant en pratique 6 volumes, 1 kg du mélange fournit 574 calories. Dans ces conditions et en partant de la température ordinaire, la combustion sous volume constant donnerait 2450 degrés absolus et la combustion sous pression constante 2000 degrés absolus environ. Avec l'acétylène cette limite pourrait être reculée. Avec les autres gaz les résultats diffèrent assez peu, comme on le verra, des chiffres ci-dessus.

La *limite supérieure de pression* n'est définie que par des considérations d'ordre pratique. Elle est, comme on le verra, sans influence directe sur la vitesse d'écoulement. D'autre part, si la compression est isothermique on peut l'augmenter sans augmenter le rapport du travail de compression ou travail utile. On peut considérer des compressions de 40 à 60 atm comme très admissibles aussi bien au point de vue de la construction du compresseur qu'à celui de la chambre de combustion.

La *limite inférieure* sera, soit la pression atmosphérique si l'on échappe à l'air libre, soit une pression très faible se rapprochant du vide absolu si l'on échappe dans une enceinte munie d'une pompe à air.

Le *rapport du travail de compression* au *travail utile* : $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u}$ joue un rôle considérable dans les turbines à gaz parce que, le compresseur étant obligatoirement distinct de la turbine, son rendement mécanique η_c (y compris éventuellement celui de la transmission de mouvement qui le commande) a une influence très marquée sur le rendement mécanique de l'ensemble. D'autre part, quand ce rapport est très élevé, l'importance et l'encombrement du compresseur occasionnent des inconvénients pratiques (encombrement, etc.). Un rapport voisin de l'unité est déjà prohibitif.

Enfin *la quantité de travail utile* fournie par kilogramme de gaz mesure en quelque sorte la puissance spécifique et l'encombrement de la machine.

Tels sont les principaux facteurs qui nous serviront de critérium dans la discussion qui va suivre. Mais avant de commencer cette discussion il nous reste à indiquer les hypothèses et les données numériques qui serviront de base. Disons de suite que tous les calculs ont été exécutés au moyen de la règle à calcul, une approximation supérieure étant illusoire.

Nous nous baserons sur les lois simples et bien connues de la

thermodynamique, comme M. Witz l'a fait dans ses travaux classiques sur les moteurs à gaz. Comme première approximation nous supposerons les chaleurs spécifiques constantes et nous raisonnerons comme s'il s'agissait *d'air chaud* en adoptant pour la chaleur spécifique à pression constante C_p la valeur usuelle 0,2375 et pour la chaleur spécifique à volume constant c_v la valeur 0,1686, de sorte que $\gamma = \frac{C_p}{c_v} = 1{,}41$. La constante spécifique de l'air R étant d'ailleurs 29,3. Nous négligeons la contraction quoiqu'elle puisse atteindre 5 0/0.

Pour la vapeur d'eau nous adopterons $C_p = 0{,}48$. Ce n'est donc que dans des cas spéciaux et pour préciser la discussion que nous tiendrons compte de la variation des chaleurs spécifiques avec la température en adoptant la formule linéaire de M. Lechatelier $C = a + bT$.

Nous conservons aussi pour la détente adiabatique la formule de Laplace ou de Poisson $p\,v^\gamma = \text{constante}$.

Les formules exponentielles modernes sont très intéressantes mais elles alourdiraient la discussion au point de rendre les comparaisons impossibles.

D'ailleurs après avoir déblayé la discussion nous reviendrons sur les modifications que devraient subir nos résultats si l'on tenait compte de ces formes plus exactes des lois de l'évolution des gaz.

Rendement mécanique (ou organique) des turbines à gaz.

L'évolution s'opère dans deux machines distinctes, la turbine et le compresseur, ayant chacun leur rendement propre. Une partie plus ou moins grande de la chaleur transformée en travail dans la turbine avec le rendement propre à cette machine est dépensée dans le compresseur et le travail disponible n'est que la différence des deux travaux dont il s'agit.

Soit, par kilogramme de gaz, Q la quantité de chaleur fournie par la combustion, q la chaleur cédée au réfrigérant et ρ le rendement thermique total, égal par définition à $\frac{Q-q}{Q}$.

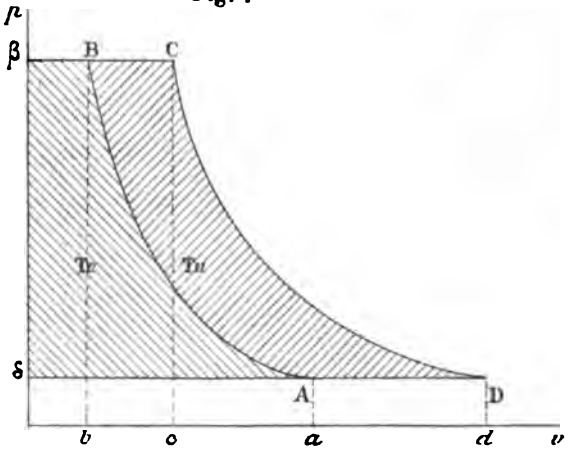
Si les pertes se réduisaient aux pertes d'ordre thermique on recueillerait un travail :

$$\mathfrak{T}u = \rho EQ.$$

Soit maintenant $\mathfrak{C}c$ le travail de compression théorique par kilogramme d'air (que nous calculerons plus loin dans chaque cas) et η_c le rendement mécanique du compresseur, défini de telle manière que $\frac{\mathfrak{C}_c}{\eta_c}$ soit la quantité de travail fournie sur l'arbre du compresseur pour comprimer 1 kg d'air (1).

D'autre part, chaque kilogramme d'air fournit dans la turbine motrice une quantité de « travail indiqué » égale par définition à la somme du travail net disponible sur l'arbre et du travail de toutes les résistances passives (frottements, etc.). Ce travail $\mathfrak{C}$, que nous calculerons dans chaque cas, est égal au travail utile $\mathfrak{C}u$ défini plus haut augmenté du travail de compression $\mathfrak{C}c$ ainsi que l'on s'en assure en examinant le diagramme.

Fig. 7



Donc le travail indiqué fourni dans la turbine motrice par kilogramme d'air a pour valeur :

$$\mathfrak{C}_{\text{indiqué}} = \mathfrak{C}u + \mathfrak{C}c. \qquad [1]$$

En appelant η_t le rendement mécanique de la turbine, le travail effectif sur l'arbre sera :

$$\mathfrak{C}_{\text{effectif}} = \eta_t\,(\mathfrak{C}u + \mathfrak{C}c). \qquad [2]$$

Par suite le travail effectif net disponible sur l'arbre commun

(1) Dans le cas de la compression isothermique on calcule le travail théorique par la loi de Mariotte. Si cette loi n'est pas exactement suivie et si le gaz s'échauffe un peu par la compression, l'énergie correspondante est comprise dans les pertes mécaniques et dans la valeur de η_c.

de la turbine et du compresseur (supposés couplés directement) sera donc :

$$\mathfrak{C}_{\text{travail net}} = \eta_t(\mathfrak{C}u + \mathfrak{C}c) - \frac{1}{\eta_c}\mathfrak{C}c. \qquad [3]$$

(Si le compresseur est actionné par une transmission quelconque, le rendement de cette transmission devra être compris dans η_c.)

Fig. 8

VALEURS DU RENDEMENT η EN FONCTION DE $\frac{Te}{Tu}$

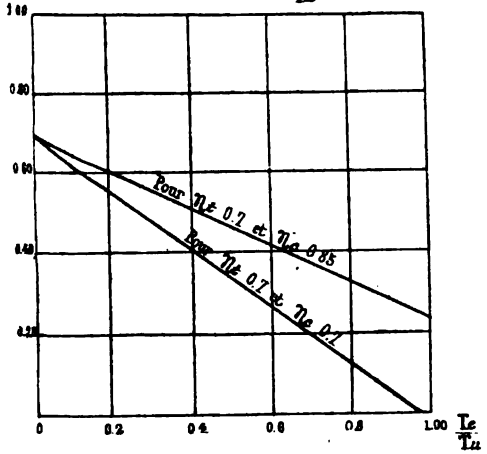
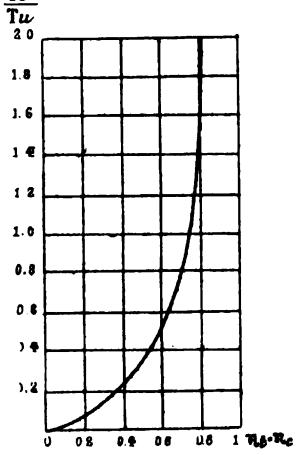


Fig. 9

VALEURS DE $\frac{Te}{Tu}$ annulant le rendement η



Le rendement mécanique de l'ensemble des deux machines sera donc :

$$\eta_i = \frac{\text{Travail net}}{Tu} = \eta_t + \left(\eta_t - \frac{1}{\eta_c}\right)\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u}. \qquad [4]$$

Le rendement mécanique s'annule pour $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u} = \frac{\eta_t}{\frac{1}{\eta_c} - \eta_t}$. Par exemple en admettant $\eta_t = \eta_c$ le rendement sera nul pour $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u} = \frac{\eta_t^2}{1-\eta_t^2}$, ce qui donne les valeurs suivantes :

$\eta_t = \eta_c =$	0,5	0,6	0,7	0,8
$\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u} =$	0,34	0,56	0,96	1,78

On verra plus loin que, dans l'état actuel de la construction des turbines, η_t serait voisin de 0,7. Quant au rendement du compresseur η_c ce sera dans le cas de machines à mouvement alternatif perfectionnées 0,8 à 0,9. Mais comme il faut insérer une transmission réductrice de vitesse (1), η_c sera ramené à 0,75 — 0,85. Si le compresseur est formé d'une turbine ou d'un ventilateur multicellulaire en admettant que l'accouplement direct soit possible le rendement serait probablement voisin de 0,6 à 0,7.

Admettons donc $\eta_t = \eta_c = 0{,}7$, on voit que le rendement mécanique total s'annulerait pour $\mathfrak{C}c = \mathfrak{C}u$ (environ). On aura d'ailleurs :

$$\eta_i = 0{,}700 - 0{,}729\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u}.$$

Ceci montre l'importance fondamentale du rapport du travail de compression au travail utile (2).

Disons de suite et pour fixer les idées que l'on peut théoriquement compter que ce rapport serait compris entre 0,2 et 0,4 ce qui ferait varier le rendement mécanique total η_i entre 0,4 et 0,6.

Comme nous rencontrerons des rendements thermiques ρ compris entre 0,4 et 0,6 on voit que l'ordre de grandeur de l'effet utile total serait compris entre 0,16 et 0,36.

Nous pouvons maintenant passer à la discussion des différents modes d'évolution applicables aux turbines à gaz.

Chapitre I

A. — Cycles à introduction de chaleur isothermique.

Le type de ces cycles est celui de Carnot. Diesel a cherché d'autre part à réaliser dans son moteur une combustion isothermique. Ce résultat ne pourrait être obtenu dans une turbine à gaz qu'en obligeant la combustion à se continuer dans la tuyère

(1) Le nombre de tours des turbines varie de 3 000 pour les plus petites unités à 1 500 et même 500 pour les plus grandes (Curtis de 5 000 kilowatts) et celui des compresseurs à piston variant de 500 à 200 tours dans les mêmes conditions, une réduction de vitesse unique est suffisante. On réalise dans les turbines de Laval des rapports de vitesse de 10 à 13 et les engrenages d'une turbine de 200 HP n'absorbent que 2 ch.

(2) Les travaux $\mathfrak{C}c$ et $\mathfrak{C}u$ sont des travaux « indiqués ». Si l'on désigne par Nc la puissance *effective* absorbée par le compresseur et par Nu la puissance *effective* disponible, on a :

$$\frac{Nc}{Nu} = \frac{1}{\eta\eta_c}\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u}.$$

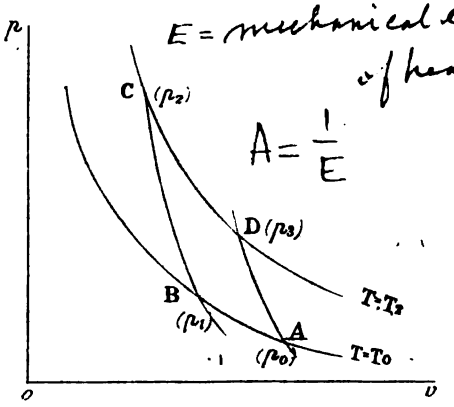
de détente ou en réalisant une détente étagée avec réchauffages successifs. Mais cette dernière solution ne serait qu'approximative.

Cycle de Carnot.

Nous comprimons le kilogramme de gaz considéré de p_0 à p_1 en le maintenant à la température initiale T_0. Cette compression isothermique absorbe une quantité de travail $\mathfrak{C}_i$ donnée par :

$$\mathfrak{C}_i = RT_0 \mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right).$$

Fig. 10 - CYCLE DE CARNOT



Ensuite on comprime le gaz adiabatiquement de p_1 à p_2. La température passe de T_0 à T_2 et le travail absorbé par la compression est :

$$\mathfrak{C}a = EC_p(T_2 - T_0).$$

On a d'ailleurs :

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}.$$

On introduit alors la quantité de chaleur Q le long de l'isothermique CD à la température T_2 pendant que la pression tombe de p_2 à p_3.

On a : $$Q = ART_2 \mathfrak{L}\left(\frac{p_2}{p_3}\right).$$

On sait que le rendement thermique ρ du cycle de Carnot est égal à $1 - \frac{T_0}{T_2}$ et que le travail utile est :

$$\mathfrak{C}u = EQ\left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right).$$

D'ailleurs on a :

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{p_2}{p_3} = e^{\frac{Q}{ART_2}}.$$

Les propriétés du cycle ne dépendent que de la température de combustion T_2, du rapport de compression total $\frac{p_2}{p_0}$ et de l'in-

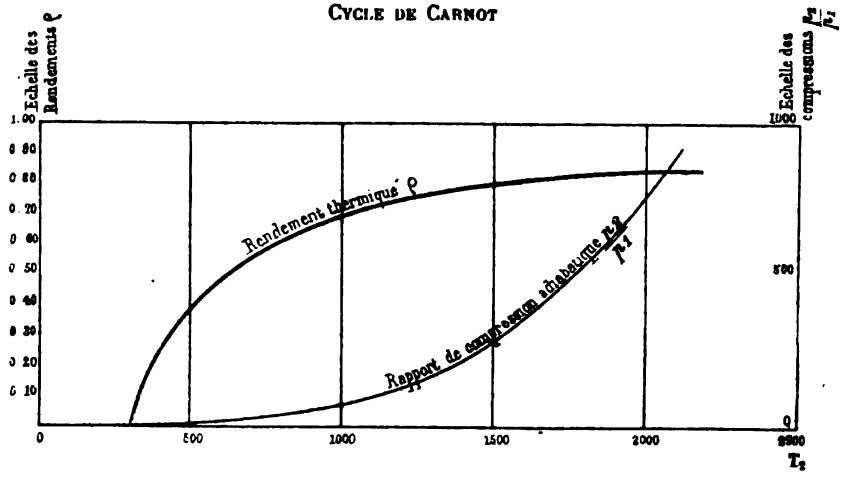
troduction de chaleur Q. La température d'échappement est constamment celle de l'atmosphère, soit $T_0 = 300$ degrés.

Le rendement thermique, qui ne dépend que de T_2, pourrait en théorie atteindre des valeurs très élevées, mais il faudrait pour cela des compressions irréalisables.

Température de combustion T_2.	300	600	900	1 200	1 500	1 800	2 100
Rendement thermique ρ.	0	0,50	0,66	0,75	0,80	0,83	0,86
Rapport de compression adiabatique $\frac{p_2}{p_1}$. . . .	1	11	46	128	282	525	913

On ne pourrait donc pas dépasser un rendement thermique de 0,66 sous peine d'être obligé de recourir à des compressions excessives, car il faut encore multiplier le rapport de compres-

Fig. 11 - RENDEMENT ET RAPPORT DE COMPRESSION ADIABATIQUE



sion adiabatique par le rapport de compression isothermique que nous allons calculer. Ce dernier : $\frac{p_0}{p_1}$ est fonction de $\frac{Q}{T_2}$. Pour $T_2 = 900$ degrés et $Q = 300$ calories on aurait $\frac{Q}{T_2} = 0{,}333$ et

$$\frac{p_1}{p_0} = 120.$$

Le rapport du travail de compression au travail utile est donné par :

$$\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u} = \frac{\mathcal{C}i}{\mathcal{C}u} + \frac{\mathcal{C}a}{\mathcal{C}u} = \frac{RT_0 \mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + EC_p(T_2 - T_0)}{\mathcal{C}u}$$

$$= \frac{RT_0 \frac{Q}{ART_2} + EC_p(T_2 - T_0)}{EQ\left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)},$$

d'où

$$\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u} = \frac{1}{\frac{T_2}{T_0} - 1} + C_p \frac{T_2}{Q}.$$

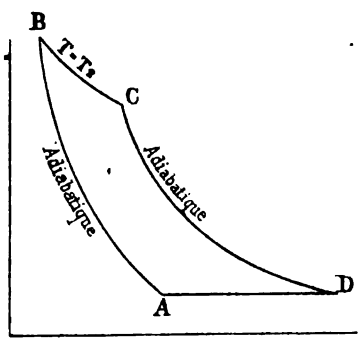
Dans notre cas particulier, on aurait : $\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u} = 1{,}2$.

On a vu plus haut que le rendement mécanique s'annule dès que le rapport du travail de compression au travail utile s'approche de l'unité.

En réalité, l'on ne pourrait même pas admettre une valeur aussi élevée du rendement thermique et de la température T_2, car celle-ci, résultant de la compression adiabatique, ne peut pas dépasser 700 degrés absolus, soit que l'on emploie un compresseur à pistons, soit que l'on utilise une turbine compresseur.

Le cycle de Carnot n'est donc pas approprié aux turbines à gaz, et ceci résulte de ce que les forts rendements thermiques qu'il permet de réaliser ne sont obtenus qu'au moyen de compressions considérables et de masses de gaz énormes. Par suite, le compresseur, qui constitue justement le point faible des turbines à gaz, prend une importance excessive, et les pertes mécaniques absorbent tout le travail utile.

Fig. 12 - CYCLE DIESEL



Cycle Diesel. — Théoriquement, le cycle de Diesel diffère du cycle de Carnot par la substitution d'une compression entièrement adiabatique aux deux compressions successives, isothermique et adiabatique, de Carnot. La cession de chaleur au réfrigérant se produit alors par non-fermeture du cycle.

Ici encore, la détente isothermique sera définie par $\frac{p_2}{p_3} = e^{\frac{Q}{ART_2}}$ et il faudra encore une détente considérable pour réaliser une introduction de chaleur Q suffisante.

Même en admettant que la température de combustion obtenue à la fin de la compression adiabatique puisse atteindre 800 degrés (ce qui correspond à une compression de 35), on aura :

pour	Q =	100	200	300 calories
	$\frac{p_2}{p_3}$ =	6	37	220

On ne peut donc pas dépasser une introduction de 200 calories, et déjà, avec ce chiffre, il n'y aurait pas de détente adiabatique.

La température maxima du cycle doit donc résulter du commencement de la combustion, et être supérieure à celle produite par la compression, ou bien la courbe de combustion se maintient au-dessus de l'isotherme.

En tous cas, ce cycle ne peut convenir aux turbines à gaz.

Autres cycles à combustion partiellement isothermique. — Quelques auteurs, entre autres M. Barkow, ont suggéré de commencer la combustion sous pression constante, et de l'achever suivant le mode isothermique. Nous examinerons plus loin cette solution, difficilement réalisable dans les turbines, et qui n'offre pas d'avantages.

B. — Cycles à introduction de chaleur isobarique.

(COMBUSTION SOUS PRESSION CONSTANTE.)

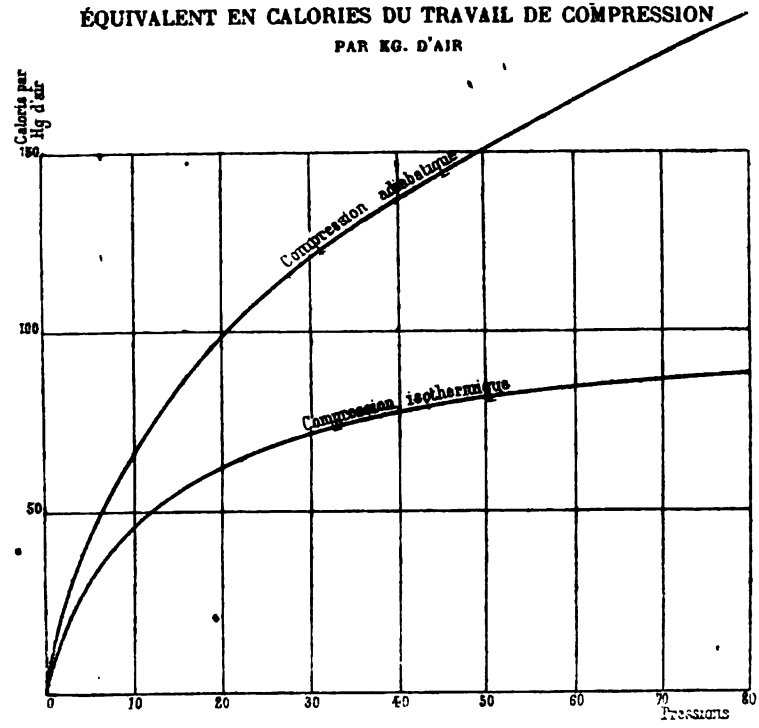
La combustion s'effectuant sous pression constante élève la température du gaz. Elle est précédée d'une compression qui peut être soit adiabatique, soit isothermique. Dans le premier cas, la compression n'est accompagnée d'aucune cession de chaleur au réfrigérant, mais elle dépense beaucoup plus de travail. Un calcul complet peut seul montrer quel est celui des deux systèmes à adopter.

Le tableau suivant servira de base aux calculs.

RAPPORT DE COMPRESSION	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Température finale de compression adiabatique	479	585	658	716	764	804	875	990	1 040	1 150
Équivalent en calories du travail de compression : adiabatique	42	68	85	99	110	120	136	164	176	203
Équivalent en calories du travail de compression : isothermique	33	48	56	62	67	71	76	85	90	95
Rapport des deux travaux	0,78	0,70	0,66	0,62	0,61	0,59	0,56	0,52	0,51	0,48

Ces chiffres sont calculés dans l'hypothèse d'une température initiale de 300 degrés absolus — et résultent des considérations suivantes.

Fig. 13



Le travail absorbé par le compresseur se compose, en effet, du travail de compression proprement dit, qui est donné, dans le cas où l'on opère à température constante, par $RT_0 \mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$, et du travail nécessaire pour refouler l'air comprimé dans l'en-

ceinte à la pression p_1, soit $p_1v_1 - p_0v_0$. Mais ici, ce deuxième terme est nul, et l'on a $\mathfrak{T}i = RT_0\mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$.

Dans le cas de la compression adiabatique, le premier terme a pour valeur $Ec_v(T_1 - T_0)$, et le second $(p_1v_1 - p_0v_0)$ est égal à $R(T_1 - T_0)$,

d'où $$\mathfrak{T}a = \left(Ec_v + R\right)(T_1 - T_0)$$

et, comme $R = E(C_p - c_v)$, on a :

$$\mathfrak{T}a = EC_p(T_1 - T_0).$$

Il suit de là que :

$$\frac{\mathfrak{T}i}{\mathfrak{T}a} = \frac{R}{EC_p}\,\frac{\mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)}{\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} = \frac{\gamma - 1}{\gamma}\,\frac{\mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)}{\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}.$$

Le rapport tend vers l'unité pour des compressions infiniment faibles. Il décroit rapidement à mesure que le rapport de compression croit, et tombe à 0,5 pour une compression voisine de 80.

La puissance absorbée par le compresseur est donc bien moindre, à compression égale, suivant le mode isothermique que suivant le mode adiabatique. L'écart serait encore beaucoup plus accusé si, pour une raison quelconque, les gaz comprimés adiabatiquement se trouvaient ramenés à leur température initiale. Ainsi, une compression de 20 serait ramenée à 8,4 environ. Ce fait se présentant dans les applications ordinaires de l'air comprimé rend la compression adiabatique inadmissible. Mais, dans le cas des turbines à gaz, la chaleur sensible des gaz comprimés adiabatiquement n'est pas perdue, et il y a lieu d'approfondir la discussion pour pouvoir conclure.

Compression adiabatique.

Pendant la compression, la pression passe de p_0 à p_1, et la température de T_0 à T_1.

On a : $$\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{T_1}{T_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}.$$

L'introduction de Q calories, à la pression constante p_1, porte la température à T_2, température de combustion, et

$$Q = C_p(T_2 - T_1).$$

Le mélange se détend ensuite adiabatiquement de T_2 à T_3, et

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

On voit que :

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{T_2}{T_3}.$$

La quantité de chaleur envoyée au réfrigérant est égale à la chaleur emportée par les gaz à l'échappement, soit :

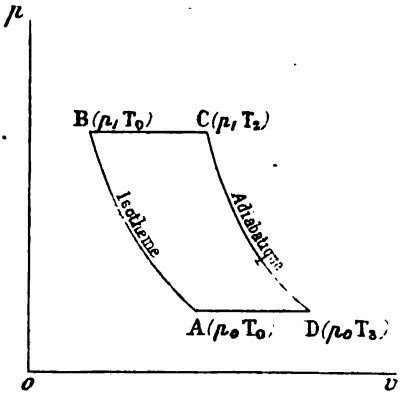
$$q = C_p(T_3 - T_0).$$

Le rendement thermique ρ est donc :

$$\rho = \frac{Q - q}{Q} = 1 - \frac{T_0}{T_1}.$$

Fig. 14

CYCLE A COMBUSTION ISOBARIQUE
et compression adiabatique



On obtient donc le même rendement que dans un cycle de Carnot présentant le même rapport de compression adiabatique, mais sans avoir besoin de la compression isothermique préalable. La compression totale est donc beaucoup moindre, mais la température haute du cycle plus élevée, ce qui n'offre pas d'inconvénient.

Le rapport du travail de compression au travail utile est donné par

$$\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u} = \frac{EC_p(T_1 - T_0)}{EQ\left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)} = C_p\frac{T_1}{Q}.$$

Il est facile de voir que ce rapport est constant si l'on donne à la température finale de la détente T_3 une valeur fixe, car on a $\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_0}$, et, par suite

$$\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u} = \frac{C_pT_1}{C_p\left(\frac{T_3T_1}{T_0} - T_1\right)} = \frac{1}{\frac{T_3}{T_0} - 1}.$$

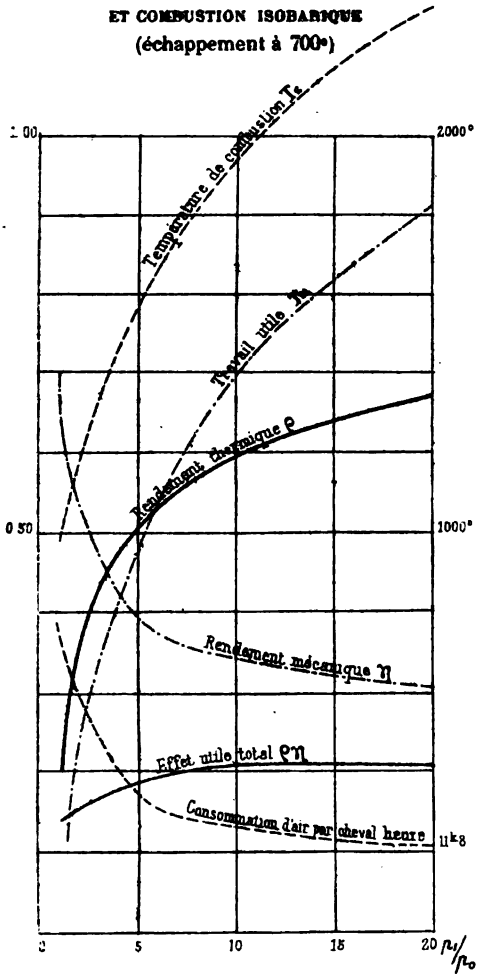
Cycles à combustion isobarique avec compression isothermique.

RAPPORT DE COMPRESSION $\frac{p_1}{p_0}$	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Température de combustion T_2	1 120	1 365	1 533	1 680	1 780	1 880	2 050	2 300	2 500	2 670
Chaleur introduite Q (calories)	195	234	292	328	350	375	415	480	522	563
— perdue à l'échappement q	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
— perdue à la compression Q'	33	48	56	62	67	71	76	85	90	95
Rendement thermique ρ	0,36	0,45	0,49	0,53	0,545	0,565	0,595	0,63	0,65	0,67
Équivalent $A\mathcal{C}c$ du travail de compression	33	48	56	62	67	71	76	85	90	95
— $A\mathcal{C}u$ du travail utile	70	114	144	174	191	212	247	303	339	377
Rapport $\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u}$	0,47	0,42	0,39	0,36	0,35	0,34	0,31	0,28	0,26	0,25
Rendement mécanique η	0,36	0,39	0,42	0,44	0,445	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52
Effet utile total $\rho\eta$	0,13	0,18	0,205	0,233	0,243	0,255	0,28	0,31	0,33	0,35
Rapport des puissances $\frac{Nc}{Nu}$	1,8	1,6	1,3	1,2	1,1	1,06	0,95	0,83	0,72	0,68

Ce rapport prend donc une valeur d'autant meilleure que T_3 a une valeur plus élevée. Mais comme, par construction, T_3 ne peut guère dépasser 700 degrés, on a $\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u} = \frac{1}{\frac{700}{300} - 1} = 0{,}75$.

Fig. 15

CYCLES A COMPRESSION ADIABATIQUE
ET COMBUSTION ISOBARIQUE
(échappement à 700°)



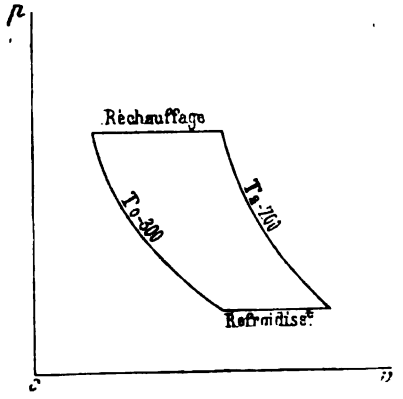
La valeur correspondante du rendement mécanique total η_1, donné par $\eta_1 = 0{,}700 - 0{,}729\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u}$, n'est donc que de 0,15 environ.

Les propriétés de la famille de cycles la plus avantageuse sont, par suite, résumées ci-dessous :

RAPPORT DE COMPRESSION $\frac{p_1}{p_0}$	5	10	15	20	30
Température finale de compression T_1.	480	585	658	716	804
— — de combustion T_2 .	1 120	1 400	1 540	1 670	1 876
— — de détente T_3 . . .	700	700	700	700	700
Chaleur introduite Q (calories)	149	188	208	227	255
— perdue à l'échappement q . .	92	92	92	92	92
Rendement thermique ρ	0,37	0,49	0,54	0,58	0,63
Équivalent $A\mathfrak{T}c$ du travail de compr.	42	68	85	99	120
— $A\mathfrak{T}u$ du travail utile . . .	56	94	112	134	162
Effet utile total $\rho\eta$	0,06	0,08	0,086	0,092	0,10
Équivalent $A\eta\mathfrak{T}u$ du travail mécan. net.	8,4	14,1	16,8	20	24,3
Consomm. d'air en kg par cheval-heure	75	45	37	32	26
Rapport des puissances $\frac{Nc}{Nu}$	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1

Ces résultats, résumés dans le diagramme, ne sont pas encourageants. La compression adiabatique de 20 donne, en effet, une température finale de 716 degrés absolus, qui ne saurait être dépassée (1). L'effet utile total n'est que de 9 0/0, et la masse de gaz à mettre en jeu pour produire l'unité de travail est considérable (*fig. 15*).

Fig. 16
CYCLE A COMBUSTION ISOBARIQUE
et compression isothermique



Compression isothermique.

La compression isothermique de p_0 à p_1 effectuée à la température T_0, absorbe une quantité de travail dont l'équivalent en chaleur est :

$$Q' = ART_0 \mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right).$$

(1) Du moins, si l'on opère d'une façon réellement adiabatique, c'est-à-dire sans aucun refroidissement artificiel des organes en contact avec le gaz. S'il n'en est pas ainsi, il est impossible de calculer exactement les résultats réalisables.

L'introduction de Q calories à la pression constante p_1 porte la température à la valeur T_2, et :

$$Q = C_p(T_2 - T_0).$$

La détente adiabatique de p_1 à p_0 ramène la température à T_3,

et $$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Les gaz de l'échappement emportent $q = C_p(T_3 - T_0)$ calories.

Le rendement thermique est donc :

$$\rho = \frac{C_p(T_2 - T_0) - C_p(T_3 - T_0)ART_0\mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)}{C_p(T_2 - T_0)}.$$

Considérons la famille de cycles correspondant à une même température d'échappement $T_3 = 700$ degrés. (Tableau p. 218) :

Ces résultats, résumés dans le diagramme, montrent qu'il y a intérêt à adopter des compressions aussi élevées que possible. Ici l'on n'est plus limité dans cette voie que par la valeur de la température de combustion et de l'introduction de chaleur qui prennent des valeurs excessives lorsque la compression totale dépasse 60.

Dans ce cas les résultats peuvent être améliorés en admettant une température d'échappement plus basse. Par exemple, conservons la compression de 80. Admettons qu'on échappe à 600 degrés absolus au lieu de 700. La température de combustion sera de 2150. Il est facile de voir que l'introduction de chaleur sera $Q = 440$, le rendement $\rho = 0{,}635$, le rapport $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u} = \frac{90}{279} = 0{,}325$, d'où $\eta = 0{,}46$ et par suite, $\rho\eta = 0{,}29$ tandis que l'on aurait obtenu 0,28 avec une compression de 40 avec échappement à 700 degrés.

Il n'y aurait aucun avantage théorique à admettre ainsi une température d'échappement plus basse si cela ne présentait l'avantage d'ordre pratique de permettre dans la turbine l'emploi de pressions étagées. En effet, on peut dans ce système commencer la détente jusqu'à 700 degrés dans la tuyère d'une première turbine et la prolonger de 700 à 600 dans les aubages directeurs d'un second groupe de roues mobiles.

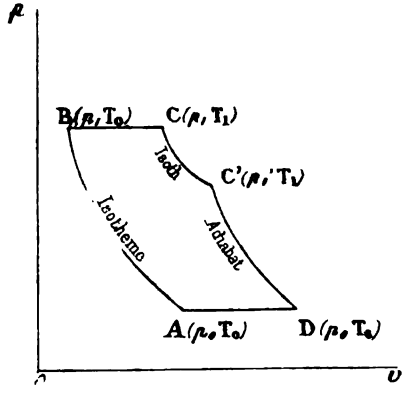
Ce n'est toutefois qu'après une série d'essais industriels qu'il sera possible de déterminer la limite exacte à partir de laquelle les hautes compressions devront être utilisées de cette manière.

Cette limite dépendra à la fois de la véritable loi suivant laquelle s'effectue la détente et de la température de combustion réellement réalisable (1).

En dessous de cette limite il n'est pas avantageux de chercher à utiliser les hautes compressions dont on peut disposer pour abaisser la température de l'échappement et il vaut mieux en profiter pour accroître l'introduction de chaleur et la température maxima.

La réalisation d'un rapport de pressions supérieur à 50, ne se heurte pas à une impossibilité pratique. La construction des compresseurs et celle des chambres de combustion s'accommoderaient de ces pressions. Mais on peut les éviter en faisant échapper les gaz dans une enceinte à pression réduite. Nous reviendrons sur ce point. Disons seulement dès maintenant que la pression basse p_0 du cycle peut être choisie au-dessous de la pression atmosphérique (par exemple 1/3, 1/4 ou 1/5 d'atmosphère) sans que rien soit changé aux raisonnements et calculs précédents. La limite haute de pression p_1 est alors réduite au tiers, au quart, ou au cinquième de son ancienne valeur. Le rapport $\frac{p_1}{p_0}$ ne changeant pas, les rendements ne sont pas modifiés.

Fig. 17
CYCLE A COMBUSTION ISOBARIQUE ET ISOTHERMIQUE



Il y a lieu de dire un mot d'une modification proposée par M. Barkow entre autres et d'après laquelle la combustion commencée sous pression constante serait achevée au cours d'une détente isothermique.

Supposons que la détente adiabatique soit la même que dans le cas précédent et la température finale 700 degrés. Il s'ensuit que la limite haute de température sera la même, et par suite aussi la quantité de chaleur Q introduite sous pression constante. Mais nous pouvons en outre introduire pendant la détente isothermique un supplément de chaleur K. Soit χ le

(1) La valeur de γ, celle des chaleurs spécifiques, etc., pouvant différer en pratique des valeurs théoriques qui nous ont servi de base.

rapport de cette détente. On aura $K = ART_2\mathfrak{L}(\chi)$. D'autre part, la compression totale sera χ fois plus forte qu'auparavant de sorte que le travail de compression sera augmenté d'un travail supplémentaire $\mathfrak{C}'_c = ART_0\mathfrak{L}(\chi)$. Il y a donc un gain de travail égal à :

$$AR(T_2 - T_0)\mathfrak{L}(\chi) \text{ soit à } \frac{T_2 - T_0}{T_2} K.$$

La quantité de chaleur introduite à température constante est donc utilisée avec un rendement thermique égal à celui du cycle de Carnot, par suite le rendement du cycle complet est amélioré. Mais il faudrait donner à χ une valeur considérable, comme on l'a vu, pour que K puisse atteindre une certaine importance. On constate aisément en faisant un calcul complet qu'il vaut mieux, au point de vue de l'effet utile total, utiliser toute la compression disponible pour porter à son maximum l'introduction de chaleur sous pression constante.

Discussion des rendements comparés

Nous pouvons maintenant comparer définitivement les deux modes de compression étudiés.

On voit immédiatement, à l'inspection du diagramme, que le rendement thermique ρ est légèrement supérieur lorsqu'on emploie le mode de compression adiabatique. Mais comme on ne pourrait sûrement pas dépasser dans ce système une compression de 20, la limite supérieure de ρ serait au plus 0,58 tandis que si la compression est isothermique on peut aller jusqu'à un rapport de 60 qui donne pour ρ la valeur maxima 0,63.

La supériorité de la compression isothermique est encore plus marquée au point de vue du rendement mécanique. Tandis que celui-ci reste constant quelle que soit la compression dans le mode adiabatique, il augmente au contraire avec la compression dans le mode isothermique et prend des valeurs variant du double au triple de celles réalisées dans le premier cas. Par suite il en est à peu près de même en ce qui concerne le rendement total $\rho\tau_i$ qui paraît avoir pour limite 0,30 environ avec nos hypothèses.

On serait ainsi conduit à dépenser 2 120 calories par cheval-heure effectif disponible sur l'arbre, ce qui correspond à une consommation de 212 g de naphte à 10 000 calories (pouvoir calorifique inférieur). Les moteurs Diesel et Banki en consomment

180 à 250 g. Les moteurs à gaz de haut fourneau dépensent 2 000 calories au minimum par cheval effectif.

Ces consommations probables des turbines à gaz sont donc comparables à celles des meilleurs moteurs connus. Le point faible réside encore dans ce fait que la puissance *effective* absorbée par la compression est égale à 85 0/0 environ de la puissance nette disponible sur l'arbre et industriellement utilisable.

Il y a lieu de remarquer que si, par suite de dispositions défectueuses du compresseur, la chaleur dégagée pendant la compression n'était pas absorbée immédiatement, au fur et à mesure de sa mise en liberté, par l'injection d'eau et l'action refroidissante des parois, mais ne disparaissait que dans le parcours des gaz entre le compresseur et la turbine, le rendement serait beaucoup moins bon que dans les deux cas étudiés précédemment.

On obtiendrait, en effet, les résultats suivants : le rapport du travail de compression au travail utile serait constant quelle que soit la compression pour une température d'échappement donnée et atteindrait pour 700 degrés, 0,73. D'où $\eta_i = 0{,}17$. Quant au rendement thermique, il varierait comme suit :

Rapport de compression . .	5	10	15	20	30	40	60	80	100
Chaleur introduite Q . .	195	254	292	328	375	415	480	522	563
Chaleur perdue à la compression Q'	42	68	85	90	120	136	164	176	202
Équivalent A$\mathfrak{T}_u$ du travail utile	61	94	115	137	163	187	224	254	271
Rendement thermique ρ.	0,31	0,37	0,39	0,44	0,44	0,45	0,47	0,49	0,49
Effet utile total $\rho\eta$. . . .	0,053	0,063	0,067	0,071	0,074	0,077	0,080	0,083	0,080

Les résultats ne peuvent, d'ailleurs, jamais être aussi mauvais que l'indique ce calcul si la compression s'exécute à plusieurs étages, car le refroidissement des gaz sortant d'un cylindre pour aller dans le suivant diminue le travail dépensé dans celui-ci. Ils peuvent même devenir satisfaisants si les étages sont assez nombreux et si le refroidissement entre étages est complet.

C. — Cycles à introduction de chaleur isoplérique.

(Cycles des moteurs à explosion.)

Sans rechercher, pour le moment, si ce mode d'évolution est applicable, en pratique, aux turbines à gaz, nous examinerons les rendements qu'il permettrait théoriquement de réaliser.

L'introduction de chaleur à volume constant a pour effet d'élever la pression et produit une augmentation de température plus forte que si l'on opère à pression constante.

Compression adiabatique.

Si l'on comprime suivant le mode adiabatique, la température finale de l'explosion sera, par suite, très élevée et l'introduction de chaleur par kilogramme de gaz ne pourra pas être considérable (1). En effet, on serait obligé d'admettre des pressions finales d'explosion excessives pour pouvoir ramener la température finale de la détente à 700 degrés. On ne peut ainsi dépasser une compression de 15, conduisant à une pression d'explosion de 49 atm. Dans ces conditions, déjà difficiles à réaliser, le rendement thermique ρ serait de 0,64 environ, on aurait un rendement mécanique de 0,33, et un effet utile de 0,21, comme le montre le tableau de la page 227, qui se rapporte, comme toujours, à la famille des cycles échappant à 700 degrés absolus.

(1) Nous donnerons seulement les résultats du calcul.

On a : $\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{T_1}{T_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$; $Q = c_v(T_2 - T_1)$ et $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$.

La détente adiabatique donne :

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Le rendement est donné par :

$$\rho = \frac{c_v(T_2 - T_1) - cp(T_3 - T_0)}{c_v(T_2 - T_1)} = 1 - \gamma\frac{T_3 - T_0}{T_2 - T_1}.$$

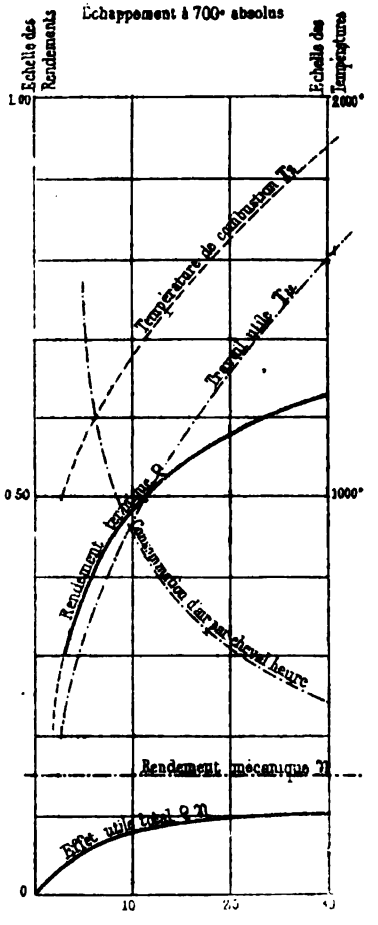
D'ailleurs, $T_3 = \frac{T_0^2}{\left(\frac{p_0}{p_1}T_1\right)^{\gamma-1}}$ et $\frac{p^3}{p_1} = \left(\frac{T_3}{T_0}\right)^{\gamma}$.

Ce rapport ne dépend donc que de la température d'échappement.

On peut ainsi calculer les éléments du tableau (p. 227) et du diagramme *(fig. 18)*.

Les turbines à explosion avec compression adiabatique ont donc un faible rendement (1) ($\rho r_i < 0{,}20$). L'augmentation de la compression initiale n'exerce que peu d'influence, de sorte que

Fig. 18 - CYCLE
à compression adiabatique
et combustion isopiérique
Échappement à 700° absolus



ces machines ne peuvent présenter quelque intérêt que pour les très faibles puissances et dans le cas où la dépense de combustible est secondaire. Il convient alors de n'employer qu'une compression préalable nulle ou insignifiante.

(1) Toutefois la compression adiabatique est encore plus désavantageuse dans le cas des cycles à combustion que dans celui des cycles à explosion comme le montre la comparaison des diagrammes n°s 15 et 18.

Rapport de compression $\frac{p_1}{p_0}$	1	5	10	15	20
Température finale de compression T_1.	300	480	585	655	717
— de combustion T_2. . . .	980	1530	1930	2190	2300
Chaleur introduite Q (calories). . . .	115	188	230	260	270
Rendement thermique ρ.	0, 200	0,505	0,595	0,645	0,654
Équivalent $A\mathfrak{C}c$ du travail de compr.	0	42	68	85	99
— $A\mathfrak{C}u$ du travail utile . . .	23	96	138	168	178
Rapport $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u}$	0	0,44	0,50	0,52	0,55
Rendement mécanique ρ.	0,70	0,38	0,34	0,32	0,30
Effet utile total $\rho\eta$.	0,140	0,192	0,203	0,210	0,200
Rapport des puissances $\frac{Nc}{Nu}$.	0	1,66	2,1	2,3	2,6
Rapport des pressions $\frac{p_2}{p_0}$.	3,27	15,4	32,7	49	65
Travail mécanique net disponible $\eta\mathfrak{C}u$.	16	36,5	47,0	54,0	54,0
Consommation d'air en kg par ch-h.	39,5	17,4	13,6	11,8	11,8

Compression isothermique.

On introduit par kilogramme de gaz une quantité de chaleur Q et

$$Q = c_c(T_2 - T_0).$$

La pression devient :

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_0}.$$

La détente adiabatique ramène la température à T_3.

On aura donc :

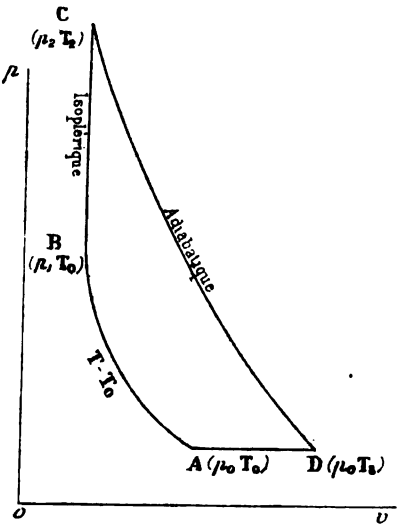
$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

et

$$T_2 = \frac{(T_3)^\gamma}{\left(\frac{p_0}{p_1}T_0\right)^{\gamma-1}}.$$

La chaleur cédée au réfrigérant se compose des calories

Fig. 19 - CYCLE à combustion isoplérique et compression isothermique



perdues à l'échappement : $C_p(T_3 - T_0)$ et de la chaleur soustraite pendant la compression isothermique : $RT_0 \mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$.

Le rendement thermique est donc :

$$\rho = \frac{c_v(T_2 - T_0) - C_p(T_3 - T_0) - RT_0\mathcal{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)}{c_v(T_2 - T_0)}.$$

Si nous adoptons, comme d'ordinaire, une température d'échappement de 700 degrés, la famille de cycles correspondante sera définie comme suit :

Rapport de compression $\frac{p_1}{p_0}$	1	5	10	15	20
Température de combustion T_2. . . .	980	1820	2420	2850	3210
Chaleur introduite Q (calories). . . .	115	253	355	430	490
— perdue à l'échappement q . .	92	92	92	92	92
— — à la compression. . .	0	33	48	56	62
Rendement thermique ρ.	0,19	0,51	0,61	0,66	0,68
Équivalent $A\mathcal{C}c$ du travail de compr.	0	33	48	56	62
— $A\mathcal{C}u$ du travail utile. . . .	23	130	215	282	336
Rapport $\frac{\mathcal{C}c}{\mathcal{C}u}$	0	0,25	0,22	0,20	0,19
Rendement mécanique η.	0,70	0,52	0,54	0,55	0,56
Effet utile total $\rho\eta$.	0,13	0,265	0,33	0,365	0,38
Rapport des puissances $\frac{Nc}{Nu}$.	0	0,68	0,58	0,52	0,49
Rapport $\frac{p_2}{p_1}$.	3,27	6,1	8,1	9,5	10,7
— $\frac{p_2}{p_0}$.	3,27	30,4	80,7	143	214
Travail mécanique net disponible $\eta\mathcal{C}u$.	16	68	116	156	188
Consommation d'air en kg par ch.-h.	39,5	9,4	5,5	4,1	3,4

Le rapport du travail de compression au travail utile est faible, ce qui constituerait un grand avantage. Mais, dès que l'on atteint une compression de 10, la pression finale dépasse 80 atm, ce qui constitue une limite bien difficile à atteindre. L'effet utile total atteint alors 0,38, tandis qu'avec la compression isothermique suivie d'une combustion sous pression constante on arrivait à 0,31 comme limite.

Si l'on faisait échapper les gaz dans une enceinte à pression

réduite, on pourrait admettre des rapports de pression supérieurs. Par exemple, avec une compression de 3 et une introduction de 430 calories, la pression maximum atteindrait 28,5 atm. En faisant échapper dans une enceinte à 1/5 d'atmosphère on réaliserait une détente totale de 143, nécessaire pour ramener les gaz de 2 850 degrés à 700 degrés absolus, ce qui donne un effet utile de 0,365 et la puissance des compresseurs serait réduite à environ 1/2 de la puissance nette effective disponible. Ces résultats seraient très encourageants. Malheureusement, il ne paraît pas facile de réaliser une turbine à explosion, les organes d'obturation de la chambre d'explosion ne pouvant pas résister facilement aux très hautes températures mises en jeu.

On constate aisément, par le calcul, que les rendements deviennent moins favorables si l'on cherche à abaisser la température d'échappement au-dessous de 700 degrés.

Cycles à combustion isoplérique sans compression.

Si l'on ne comprime pas les gaz avant l'explosion le rendement thermique est faible comme on l'a vu. On peut chercher comment il varierait si l'on faisait varier la température d'échappement T_3.

Or, on a :

$$\rho = 1 - \gamma \frac{T_3 - T_0}{T_2 - T_0} = 1 - \gamma T_0^{\gamma - 1} \frac{T_3 - T_0}{T_3^{\gamma} - T_0^{\gamma}}.$$

Il est facile de voir que le rendement est minimum pour $T_3 = T_0$ (ce qui correspond, d'ailleurs, à une introduction de chaleur nulle et à $T_2 = T_0$) et croissant lorsque T_3 croît à partir de sa valeur minima T_0.

Pour	$T_3 =$	400	600	800	1 000
On trouve	$\rho =$	0,06	0,16	0,23	0,27
et, par suite,	$\rho\gamma_i =$	0,04	0,11	0,16	0,17

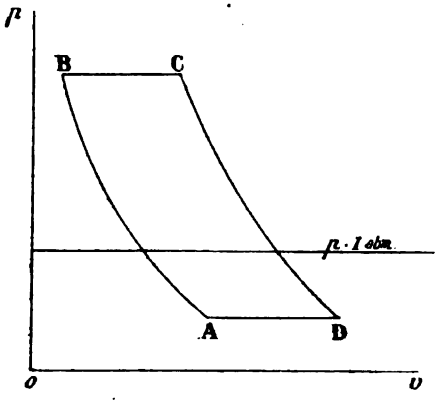
Ici encore le meilleur rendement correspond à la plus haute température d'échappement admissible eu égard à la conservation des roues mobiles en métal. L'effet utile total ne dépasserait donc pas 14 0/0 dans l'hypothèse la plus favorable.

CHAPITRE II.

Cycles à détente prolongée au-dessous de la pression atmosphérique.

Dans les cycles envisagés jusqu'ici, les gaz étaient ramenés à la fin de la détente à la pression de l'atmosphère et rejetés à une température dépendant des conditions de l'évolution mais qui doit être choisie, comme on l'a vu, aussi haute que possible eu égard à la résistance de la roue mobile.

Fig. 20
CYCLE A DÉTENTE PROLONGÉE



Rien n'empêche de disposer les choses de manière qu'une partie de l'évolution s'exécute à une pression inférieure à celle de l'atmosphère comme cela avait lieu dans les moteurs à gaz appelés « machines atmosphériques » utilisant un piston projectile.

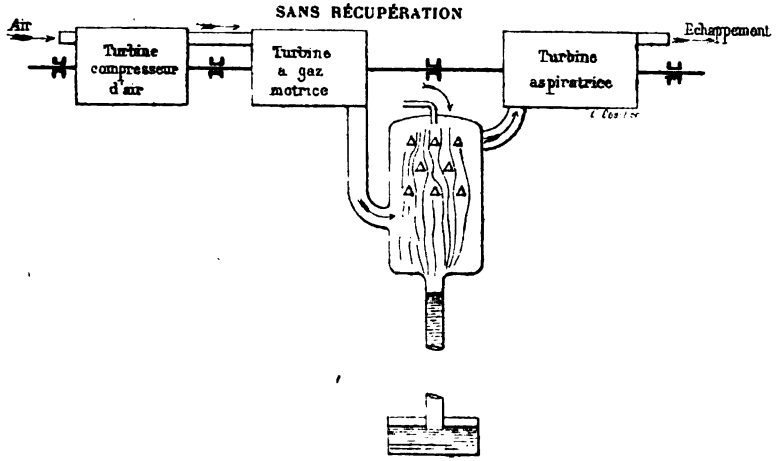
Ici ce résultat serait obtenu au moyen d'une pompe à air. Mais, eu égard aux dimensions excessives des cylindres nécessaires, les machines à piston ne sauraient convenir à cet effet. Il faudra donc recourir aux ventilateurs multicellulaires ou aux turbines-compresseurs Il n'est pas nécessaire d'employer plus de cinq roues mobiles pour réduire la pression à 1/5 atm. Mais pour diminuer le travail absorbé il faut opérer à température constante et il faut que la température des gaz de l'échappement soit ramenée à 300 degrés absolus avant que ces gaz pénètrent dans le ventilateur puisque le travail absorbé par cette machine RTL (χ) est proportionnel à la température absolue des gaz.

Ce résultat peut être obtenu soit par une injection d'eau très abondante avec emploi d'une sorte de condenseur barométrique comme réfrigérant *(fig. 21)*, soit par l'emploi d'un réfrigérant tubulaire à circulation d'eau *(fig. 22)*. Il est évident que les systèmes à récupération de chaleur seront particulièrement avantageux dans ce cas. On pourra aussi refroidir les gaz dans un vaporisateur

à gaz sulfureux faisant partie d'une machine à vapeur froide comme on le verra plus loin *(fig. 23)*.

On voit que l'échappement sous pression réduite est lié à l'emploi de la récupération, mais aussi qu'il ne facilite pas la

Fig. 21 - TURBINE A ÉCHAPPEMENT SOUS PRESSION RÉDUITE SANS RÉCUPÉRATION

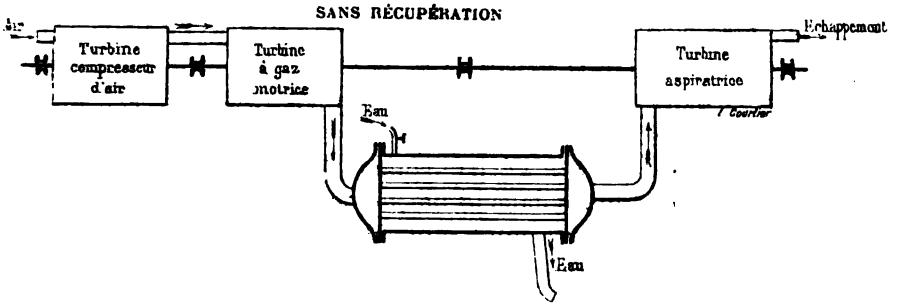


construction du récupérateur, car la transmission de chaleur est moins active lorsque les gaz sont à très basse pression.

Ceci posé, il y a trois manières de concevoir l'emploi de ce système.

On peut s'en servir pour ramener au-dessous de 700 degrés,

Fig. 22 - TURBINE A ÉCHAPPEMENT SOUS PRESSION RÉDUITE SANS RÉCUPÉRATION



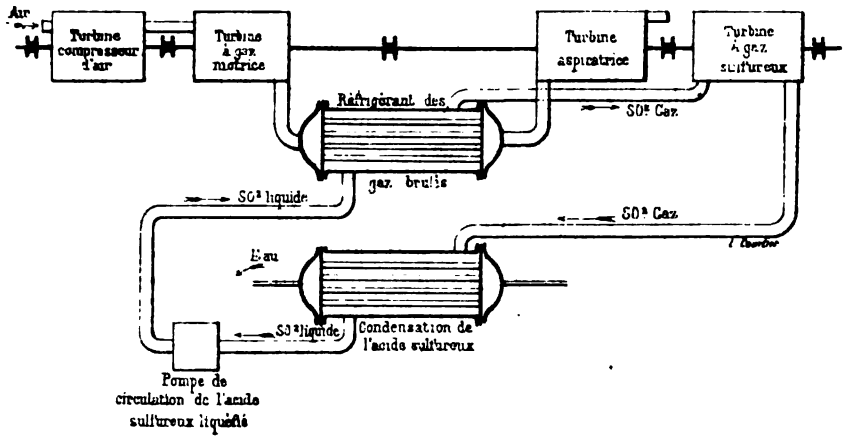
la température d'échappement d'un des cycles normaux étudiés plus haut, ce qui donne un certain gain thermique et permet en outre l'emploi avantageux de turbines à pressions étagées, mais aux dépens d'une certaine augmentation du travail de compres-

sion. Le bilan définitif du procédé ne peut être établi que dans chaque cas. Mais on a vu qu'en général, si l'on fait abstraction de l'amélioration du rendement η_i de la turbine résultant de l'emploi de plusieurs étages de pression, l'effet utile total serait meilleur si l'on utilisait le supplément de détente à augmenter l'introduction de chaleur plutôt qu'à abaisser la température d'échappement.

La seconde application du système que nous examinons consiste à augmenter le rapport de détente et à utiliser cette augmentation pour accroître l'introduction de chaleur en conservant l'échappement à 700 degrés absolus.

Ceci présente un avantage évident dans tous les cas où le rendement se trouve limité par la considération de la pression

Fig. 23 - TURBINE A ÉCHAPPEMENT SOUS PRESSION RÉDUITE AVEC RÉCUPÉRATION DES CHALEURS PERDUES PAR UNE TURBINE A GAZ SULFUREUX



maxima du cycle comme on l'a vu notamment dans le cas des cycles à explosion.

Enfin on peut utiliser l'échappement sous pression réduite d'une troisième manière dans le but de supprimer les compresseurs à pistons. On verra plus loin qu'effectivement les ventilateurs multicellulaires ou les turbines-compresseurs ne permettent pas aisément la production directe de compressions considérables *(fig. 23)*. D'autre part leur rendement diminue beaucoup dans ce cas par suite du frottement des dernières roues mobiles dans un gaz de densité élevée. Il vaut donc beaucoup mieux disposer une turbine-compresseur livrant le gaz sous

6 kg de pression par exemple à la chambre de combustion et faire suivre la turbine motrice d'une turbine-compresseur de manière à échapper sous une pression de 1/6 atm plutôt que d'employer une turbine-compresseur unique donnant 36 atm. En outre, la turbine motrice fonctionnant sous pression réduite, présentera beaucoup moins de résistance au frottement dans la marche à vide.

Il est certain que l'on n'arrivera à supprimer complètement les compresseurs à piston et par suite à réaliser des turbines à gaz réellement satisfaisantes à tous égards, que par l'emploi d'un dispositif de ce genre.

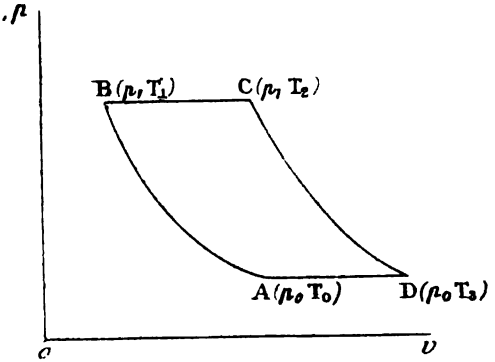
Au point de vue thermodynamique il n'y a pas de différence entre la marche avec échappement sous pression réduite ou avec échappement à la pression atmosphérique pourvu que le rapport des deux pressions extrêmes soit le même et que les deux compresseurs fonctionnent suivant le mode isothermique et à la même température T_0 dans les deux cas.

Chapitre III.

Cycles à récupération de chaleur.

On sait qu'il est possible de réaliser des cycles ayant le même rendement que celui de Carnot entre les mêmes limites de température, à condition de remplacer les adiabatiques du cycle de Carnot par deux isodiabatiques. Les deux solutions les plus simples sont celles de Stirling et d'Ericson, mais la première exigeant des réchauffages sous volume constant n'est pas applicable à notre cas.

Fig. 24 - CYCLE D'ERICSON



Cycle d'Ericson.

Dans le cycle d'Ericson, au contraire, ces échanges de chaleur se font sous pression constante : les deux isodiabatiques sont des isobariques.

On comprime le gaz suivant AB à la température constante T_0, on le réchauffe sous la pression constante (p_1) suivant BC au moyen d'un récupérateur, ce qui porte sa température à T_2. L'introduction de chaleur fournie par le combustible se fait suivant CD à la température constante T_2 pendant que la pression retombe à p_0. Enfin le gaz est refroidi dans le récupérateur de T_2 à T_0 à la pression constante p_0.

Malheureusement ce cycle n'est pas plus réalisable que celui de Carnot. Indépendamment de la difficulté pratique d'obtenir une combustion isothermique dans une tuyère de détente, on se heurte à l'impossibilité de réaliser de grandes introductions de chaleur sans employer des compressions excessives, car on a :

$$\frac{p_1}{p_0} = e^{\frac{Q}{ART_0}}.$$

Le rendement thermique $\rho = 1 - \frac{T_0}{T_2}$ ne peut dépasser 0,57 puisque les gaz sont envoyés à T_2 sur la roue mobile.

Le travail de compression $\mathfrak{C}c$ est donné par :

$$RT_0 \mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right) \text{ ou } RT_0 \frac{Q}{ART_2};$$

donc

$$\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u} = \frac{EQ\frac{T_0}{T_2}}{EQ\left(1 - \frac{T_2}{T_0}\right)} = \frac{1}{\frac{T_0}{T_2} - 1};$$

Par suite $\rho = 0{,}57$ et $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u} = 0{,}75$.

On aurait donc $\eta = 0{,}15$ $\rho\eta = 0{,}15 \times 0{,}57 = 0{,}086$.

Le cycle d'Ericson n'est donc ni réalisable ni avantageux en pratique. Mais on peut appliquer la récupération aux autres cycles que nous avons étudiés et obtenir, comme on va le voir, des résultats avantageux.

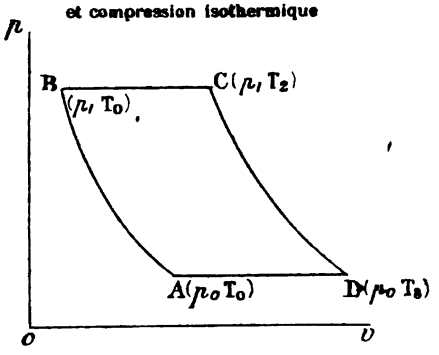
Toutefois la récupération ne s'appliquera bien qu'aux cycles à compression isothermique et surtout à ceux dans lesquels la combustion a lieu sous pression constante.

Cycles a introduction de chaleur isobarique.

Nous récupérons une fraction aussi grande que possible des calories contenues dans les gaz de l'échappement en envoyant ceux-ci dans un faisceau tubulaire où ils réchauffent les gaz comprimés qui se rendent dans la chambre de combustion. On voit de suite qu'avec une surface de transmission infinie la récupération pourrait être totale si les gaz comprimés à réchauffer sortent du compresseur à la température ordinaire (300 degrés absolus) ce qui exige une compression isothermique, tandis que si la compression est adiabatique, les gaz de l'échappement ne pourront être refroidis au-dessous de la température finale de compression. Nous n'étudierons donc que le premier cas.

Fig. 25

CYCLE A COMBUSTION ISOBARIQUE et compression isothermique



La compression est accompagnée d'une consommation de chaleur $Q' = ART_0 \mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$.

Ensuite on introduit par récupération K calories sous la pression constante p_1 et la température passe de T_0 à T_1.

On a : $$K = C_p (T_1 - T_0).$$

Le combustible fournissant Q calories élève la température de T_1 à T_2 :

$$Q = C_p (T_2 - T_1).$$

La détente adiabatique de p_1T_2 à p_0T_3 donne :

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Si la récupération pouvait être totale les gaz entrant dans le récupérateur à T_3, en sortiraient à T_0 température ambiante, et abandonneraient $C_p (T_3 - T_0)$ calories. Mais en réalité leur température ne s'abaisse pas jusqu'à T_0 et d'autre part, les gaz com-

primés ne recueilleront pas toutes les calories ainsi abandonnées à cause des pertes par radiation, conductibilité, etc. Appelons donc μ le rendement total de l'opération ; on aura :

$$K = C_p (T_1 - T_0) = \mu (T_3 - T_0).$$

Par exemple, si les gaz sortent de la turbine à 700 degrés, ils contiennent par kilogramme 92 calories récupérables et l'on aura $K = 92\ \mu$.

Ici la quantité de chaleur introduite dans le cycle est $(K + Q)$, la quantité cédée au réfrigérant pendant la compression est Q' et celle qui est évacuée à l'échappement reste égale à :

$$q = C_p (T_3 - T_0).$$

Par suite la quantité de chaleur transformée en travail utile est égale à :

$$(K + Q) - Q' - C_p (T_3 - T_0).$$

La dépense réelle de chaleur empruntée au combustible étant Q, on a donc :

$$\rho = \frac{(K + Q) - Q' - C_p (T_3 - T_0)}{Q}.$$

Si l'on conserve une même température d'échappement, par exemple 700 degrés, la valeur $(K + Q)$ de l'introduction totale reste égale, pour chaque valeur de la compression, à celle qui a été calculée dans le cas des cycles sans récupération. Par suite le travail utile obtenu par kilogramme d'air n'est pas accru par la récupération et le rapport du travail de compression à ce travail utile n'est pas changé.

Le tableau de la page 237 correspond à une température de 700 degrés absolus à l'échappement.

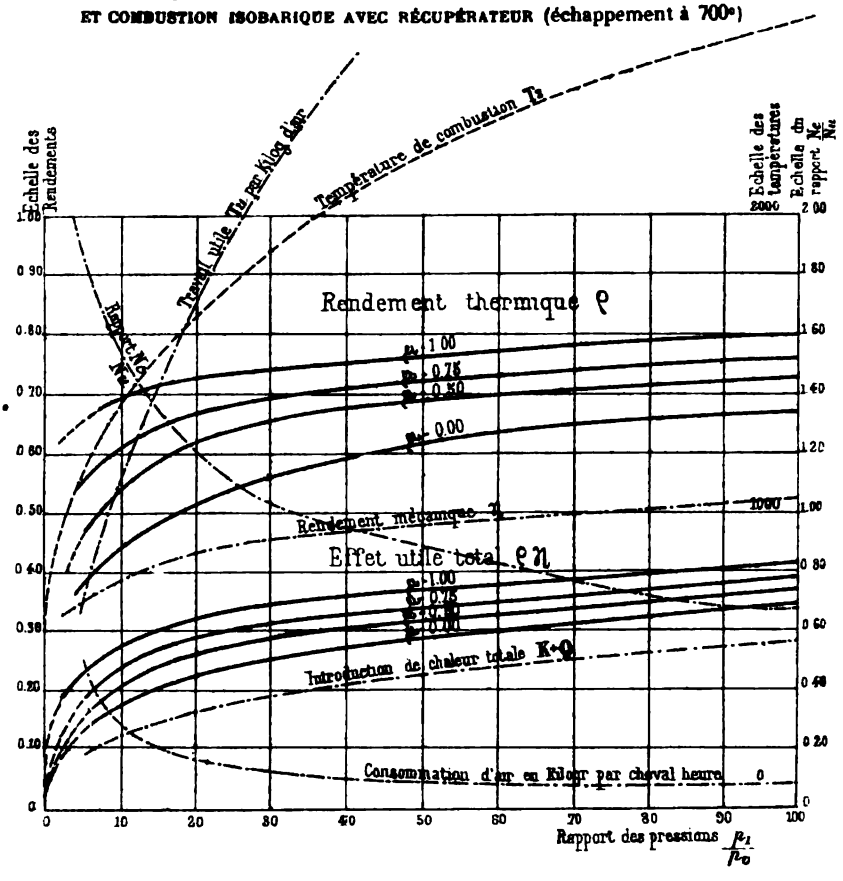
Le principal avantage de la récupération est, comme on le voit, de permettre de réaliser un même effet utile total ($\eta\rho$) avec des rapports de compression beaucoup plus faibles. Ainsi quand le coefficient de récupération μ atteint 0,75 une compression de 25 donne le même effet utile total : 0,30, qu'une compression de 60 sans récupération.

Pour une même compression une récupération de 50 0/0 ($\mu = 0{,}5$) améliore l'effet utile total $\rho\eta$ de 15 à 30 0/0 et une récupération de 75 0/0 améliore l'effet utile total de 15 à 30 0/0 suivant la compression, l'influence de la récupération étant plus grande avec de basses compressions qu'avec des rapports de pression élevés.

Rapport de compression $\frac{p_1}{p_0}$		5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Température de combustion T_2		1 120	1 365	1 533	1 680	1 780	1 880	2 050	2 300	2 500	2 670
Introduction de chaleur totale K + Q		197	256	292	328	350	375	415	480	522	563
Équivalent A$\mathfrak{C}c$ du travail de compression		33	48	56	62	67	71	76	85	91	95
Équivalent A$\mathfrak{C}u$ du travail utile		70	114	144	174	191	212	247	303	339	377
Rapport $\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}u}$ du travail de compression au travail utile		0,47	0,42	0,39	0,36	0,35	0,34	0,31	0,28	0,26	0,25
Rendement mécanique η		0,36	0,39	0,42	0,44	0,445	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52
Chaleur empruntée au combustible Q (calories)	$\mu = 0{,}50$ K = 46	151	210	246	282	304	329	369	434	476	517
	$\mu = 0{,}75$ K = 69	128	187	223	259	281	306	346	411	453	494
	$\mu = 1{,}00$ K = 92	105	164	200	236	258	283	323	388	430	471
Rendement thermique ρ pour	$\mu = 0{,}00$ K = 0	0,36	0,45	0,49	0,53	0,545	0,565	0,595	0,63	0,65	0,670
	$\mu = 0{,}50$ K = 46	0,465	0,54	0,585	0,615	0,63	0,645	0,67	0,70	0,71	0,730
	$\mu = 0{,}75$ K = 69	0,55	0,61	0,64	0,67	0,68	0,70	0,71	0,74	0,75	0,760
	$\mu = 1{,}00$ K = 92	0,665	0,70	0,72	0,735	0,74	0,75	0,765	0,78	0,79	0,800
Effet utile total $\rho\eta$, pour	$\mu = 0{,}00$ K = 0	0,130	0,180	0,205	0,233	0,243	0,255	0,280	0,310	0,330	0,348
	$\mu = 0{,}50$ K = 46	0,167	0,210	0,245	0,270	0,280	0,290	0,315	0,342	0,360	0,380
	$\mu = 0{,}75$ K = 69	0,198	0,238	0,270	0,295	0,300	0,315	0,335	0,363	0,380	0,395
	$\mu = 1{,}00$ K = 92	0,239	0,273	0,300	0,323	0,330	0,337	0,360	0,382	0,402	0,415
Équivalent A$\eta\mathfrak{C}u$ du travail mécanique net disponible $\eta\mathfrak{C}u$		25	45	60	77	85	96	116	148	173	195
Consommation d'air : kilogrammes par cheval-heure		25,5	14,3	10,6	8,3	7,5	6,7	5,5	4,3	3,7	3,3

La récupération ne peut reculer la limite absolue du maximum de l'effet utile total que si le rapport de compression dépasse 80. Dans ce cas, en effet, on est limité par la puissance calorifique des combustibles qui impose un maximum à l'introduction de chaleur. Or là récupération permet de reculer ce maximum.

Fig. 26 - CYCLES A COMPRESSION ISOTHERMIQUE
ET COMBUSTION ISOBARIQUE AVEC RÉCUPÉRATEUR (échappement à 700°)



En somme avec un coefficient de récupération de 0,75 qui paraît réalisable, on peut en théorie pour un rapport de pressions égal à 25 obtenir le cheval-heure effectif avec 2100 calories et avec un rapport égal à 60 obtenir le cheval-heure avec 1 800 calories environ. Ces résultats sont très encourageants.

Le tableau suivant donne l'importance de la quantité de chaleur à transmettre dans le récupérateur pour obtenir un travail mécanique disponible donné.

Rapport de compression $\frac{p_2}{p_1}$		5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Rapport de la chaleur récupérée au travail utile $\frac{K}{A\mathcal{E}u}$	$\mu = 0{,}50$ $K = 46$	0,66	0,40	0,32	0,265	0,24	0,215	0,185	0,15	0,14	0,12
	$\mu = 0{,}75$ $K = 69$	0,99	0,60	0,48	0,40	0,36	0,33	0,28	0,23	0,21	0,18
	$\mu = 1{,}00$ $K = 92$	1,32	0,80	0,64	0,53	0,48	0,43	0,37	0,30	0,27	0,24
Rapport de la chaleur récupérée au travail effectif net $\frac{K}{A\eta\mathcal{E}u}$	$\mu = 0{,}50$ $K = 46$	1,84	1,02	0,77	0,60	0,54	0,48	0,395	0,31	0,27	0,24
	$\mu = 0{,}75$ $K = 69$	2,76	1,53	1,16	0,90	0,81	0,72	0,60	0.46	0,40	0,35
	$\mu = 1{,}00$ $K = 92$	3,68	2,04	1,54	1,20	1,08	0,96	0,79	0,62	0,53	0,47

Les hautes compressions présentent donc l'avantage de réduire dans une forte proportion la quantité de chaleur à récupérer. Ainsi avec $\mu = 0{,}75$ on sera obligé de transmettre dans le récupérateur 510 calories par cheval effectif net disponible si la compression est de 25 et 290 calories seulement si elle atteint 60.

Or la transmission atteint par cheval effectif dans les condenseurs des machines à vapeur de 3 180 à 6 360 calories par cheval-heure suivant que ces machines consomment 5 ou 10 kg de vapeur par cheval, et l'on admet que la surface du condenseur varie de 0,10 à 0,30 m² par cheval.

Les gaz de l'échappement entrant dans le récupérateur à 700 degrés, devront en sortir à 400 degrés absolus pour réaliser la récupération de 75 0/0. L'air comprimé entrera de même à 300 pour sortir à 600 degrés. Avec une circulation méthodique la chute de température sera de 100 degrés à l'entrée comme à la sortie et la chute moyenne $\delta = \frac{D - d}{\mathfrak{L}\left(\frac{D}{d}\right)}$ est ici de 100 degrés. On pourra admettre comme dans les surchauffeurs de vapeur une transmission de 10 à 15 calories par heure, mètre carré et degré, soit ici 1 000 à 1 500 calories. Il faudra donc $\frac{510}{1\,000 \text{ à } 1\,500} = 0{,}34$ à 0,51 m² ou bien $\frac{290}{1\,000 \text{ à } 1\,500} = 0{,}20$ à 0,30 m² par cheval effectif net.

Ainsi pour réaliser une récupération de 75 0/0 avec un rapport de pression de 60 il suffira d'une surface de transmission du même ordre de grandeur que celle du condenseur d'une machine à vapeur de même puissance effective nette.

Récupération dans les cycles a introduction de chaleur isoplérique.

On traiterait ce cas en suivant la même marche que pour les cycles précédents. Mais il y a lieu de remarquer que la chaleur récupérée ne pouvant être introduite en pratique qu'à pression constante ne contribuera pas à élever la pression finale. Par suite celle-ci sera moins élevée, pour une compression initiale donnée, que dans le cas où l'on ne fait pas de récupération ce qui diminue un peu les avantages du cycle à explosion.

Le calcul donne les résultats suivants :

$$\rho = \frac{Q - \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)K - ART_0 \mathfrak{L}\left(\frac{p_1}{p_0}\right)}{Q}$$

$$T_2 = \left[\frac{C_p}{K + C_p T_0} \frac{p_1}{p_0}\right]^{r-1} \times T_3,$$

ce qui donne pour $\mu = 0{,}5$ et $T_3 = 700$ degrés.

Rapport de compression $\frac{p_1}{p_0}$	5	10	15	20
Température d'explosion T_2	1 540	2 030	2 380	2 680
Pression finale d'explosion p_2	16	41	73	110
Chaleur fournie par le combustible Q	177	260	319	370
Rendement thermique ρ	0,55	0,64	0,68	0,71
Équivalent $A\mathfrak{C}u$ du travail utile	98	166	217	262
Rapport $\frac{\mathfrak{C}e}{\mathfrak{C}u}$	0,33	0,29	0,26	0,24
Rendement mécanique η	0,46	0,49	0,51	0,53
Effet utile total $\rho\eta$	0,25	0,31	0,35	0,38
Équivalent $A\eta\mathfrak{C}u$ du travail mécanique net disponible $\eta\mathfrak{C}u$	45	81	111	139
Consommation d'air : kilogrammes par cheval-heure effectif	14,10	7,90	5,70	4,60
Calories à récupérer rapportées au travail effectif	1,00	0,57	0,42	0,33

On obtient donc les mêmes résultats qu'avec la combustion sous pression constante, mais pour des compressions environ moitié moindres. Toutefois le maximum absolu de l'effet utile n'est pas augmenté, car on se trouve limité par la considération de la pression et de la température d'explosion à des valeurs de la compression également moitié moindres.

CHAPITRE IV

Cycles comportant une injection d'eau, de vapeur ou de gaz froids.

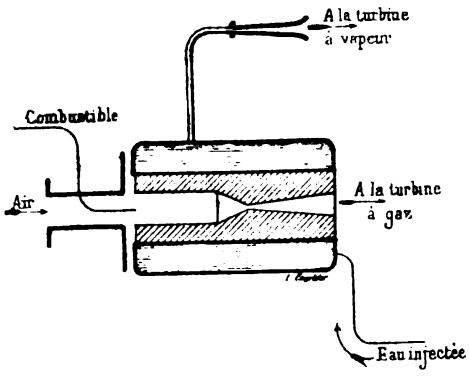
On a vu, précédemment, qu'il serait très avantageux de pouvoir diminuer la quantité de gaz que l'on est obligé de comprimer pour réaliser une quantité de travail donnée. Or, à moins de recourir à des compressions excessives dépassant un rapport de 80 pour fixer les idées, on ne peut pas introduire plus de 450 calories par kilogramme de gaz tandis que certains mélanges combustibles fourniraient aisément de 550 à 600 calories. On est donc obligé de diluer ces derniers et d'augmenter ainsi de 20 à 30 0/0 la masse de gaz à comprimer. Cet inconvénient s'aggrave encore si l'on comprime moins.

Cela conduit à rechercher si l'on ne pourrait pas employer les mélanges combustibles riches sans aucune dilution mais en limitant par certains artifices soit la température de combustion, soit la température finale de détente.

a. — Limitation de la température de combustion.

Le refroidissement externe de la chambre de combustion n'offre que des inconvénients. Les calories soustraites ne participent pas à l'évolution. Il serait plus simple et plus économique de diminuer l'introduction de combustible.

Fig. 26



Mais si la chaleur soustraite sert à vaporiser de l'eau et si l'on envoie la vapeur produite soit dans une turbine spéciale, soit dans la turbine à gaz principale au moyen de tuyères distinctes, soit dans la tuyère de détente des gaz, soit enfin dans la chambre de combustion elle-même, cette chaleur participera à une évolution suivant un cycle plus ou moins avantageux et la perte sera diminuée.

Supposons d'abord que la vapeur produite soit utilisée dans une turbine distincte qui pourra être à condensation ou à échappement libre. La chambre de combustion de la turbine à gaz jouera alors le rôle d'un foyer chauffant la chaudière à vapeur d'une turbine à gaz. Laissant de côté, pour le moment, la complication d'un pareil dispositif et admettant qu'on puisse vaporiser l'eau dans la chaudière sous 20 kg de pression et la surchauffer à 700 degrés absolus, toujours au moyen des calories prélevées aux parois de la chambre de combustion, nous obtiendrons une température d'ébullition de 488 degrés absolus. La chaleur contenue dans un kilogramme de vapeur sera :

$$\lambda_{700} = 673 + 170 = 843 \text{ calories.}$$

Si l'on marche à l'air libre, la vapeur s'échappera à 373 degrés absolus, si l'on marche à condensation la température d'échappement sera d'environ 320 degrés absolus. Le rendement thermique de l'évolution subie par la vapeur sera donc :

Avec échappement libre :

$$\rho = \frac{\lambda_{700} - \lambda_{373}}{\lambda_{700}} = \frac{843 - 637}{843} = 0{,}245,$$

et

$$\rho\eta_i = 0{,}172.$$

Avec échappement au condenseur :

$$\rho = \frac{\lambda_{700} - \lambda_{320}}{\lambda_{700}} = \frac{843 - 620}{843} = 0{,}265,$$

et

$$\rho\eta_i = 0{,}185.$$

(Dans les turbines à vapeur le rendement mécanique η_i est en effet voisin de 0,70. Le résultat obtenu dans le cas de la marche à condensation correspond à une consommation de vapeur d'environ 4 kg par cheval effectif considérée comme normale).

Or une turbine sans récupération ni injection avec rapport de compression égal à 10 donne un effet utile $\rho\eta_i = 0{,}18$. Donc le dispositif que nous examinons est sans intérêt au point de vue du rendement dès que l'on adopte des compressions supérieures à 10. (Son seul avantage est de réduire l'importance du compresseur.)

Si l'on envoie la vapeur (produite aux dépens de la chaleur développée dans la chambre de combustion) sur la roue mobile de la turbine à gaz au moyen de tuyères distinctes, le rende-

ment sera égal au précédent et la conclusion ne changera pas.

Il en sera encore ainsi si l'on mélange la vapeur aux gaz brûlés dans les tuyères de détente même de la turbine à gaz, ce qui exigerait d'ailleurs des précautions toutes particulières au point de vue cinétique, ainsi qu'on le verra plus loin.

Enfin, si l'on injecte dans la chambre de combustion la vapeur produite aux dépens de la chaleur prélevée dans cette chambre, le résultat sera le même que si l'on injectait de l'eau dans celle-ci à poids égal. C'est ce dispositif que nous allons examiner maintenant *(fig. 27)*.

Soit x le poids d'eau injecté par kilogramme de gaz brûlés et

Fig. 27

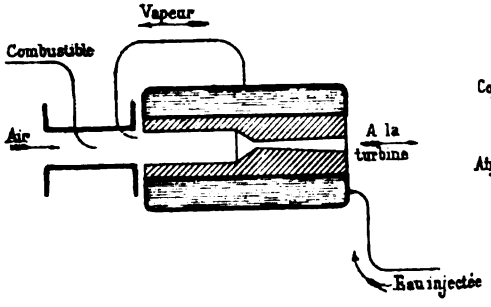
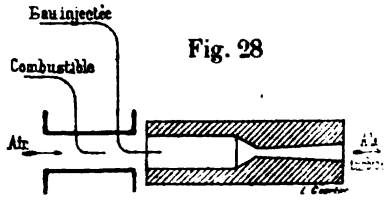


Fig. 28



p la pression dans la chambre de combustion. La tension de vapeur p' est donnée par la loi du mélange des gaz et des vapeurs et est égale à $p' = p\,\frac{R'x}{R + R'x}$ en appelant R et R′ les constantes spécifiques de l'air et de la vapeur d'eau.

Soit ici $$p' = p\,\frac{46{,}8\,x}{29{,}3 + 46{,}8\,x}.$$

Soit θ la température d'ébullition qui correspond à cette pression p'. La chaleur absorbée par la vaporisation de 1 kg d'eau injectée à 0 degré dans le milieu considéré sera donnée par :

$$\lambda_\theta = q + r = 606{,}5 + 0{,}305\ (\theta - 273).$$

D'autre part la vapeur produite se surchauffe, et en appelant $\overline{Cp_{\theta T_2}}$ la valeur moyenne de la chaleur spécifique de cette vapeur surchauffée entre les températures θ et T_2, la surchauffe absorbe

$$\overline{Cp_{\theta T_2}}\ (T_2 - \theta) \text{ calories.}$$

La chaleur totale absorbée par 1 kg de vapeur peut donc se

calculer aisément soit en admettant pour la valeur moyenne de la chaleur spécifique 0,48 soit en adoptant la formule de Lorenz

$$\overline{Cp_{0T_2}} = a + \frac{T_2^3}{b},$$

qui donne

$$\lambda_{T_2} = \lambda_0 + \int_0^{T_2} \left(a + b\,\frac{p}{T_2^3}\right) dT$$

$$= \lambda_0 + a\,(T_2 - \theta) - \frac{bp}{2}\left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{\theta^2}\right)$$

avec $a = 0{,}43$ et $b = 36 \times 10^5$.

En admettant que la valeur de γ soit la même pour la vapeur surchauffée que pour les gaz, on calculera la température finale de détente T_3 et la chaleur correspondante de la vapeur λ_{T_3}, d'où le rendement thermique ρ de l'évolution de la vapeur considérée isolément :

$$\rho = \frac{\lambda_{T_2} - \lambda_{T_3}}{\lambda_{T_2}}.$$

On remarquera que λ_{T_2} et λ_{T_3} dépendent du rapport x. Plus ce rapport est faible et plus la tension de vapeur p' est réduite relativement à la pression de combustion p. Mais on constate aisément en effectuant les calculs que les résultats obtenus diffèrent très peu de ceux qui correspondent au cas de la vapeur saturée sans air (pour lequel on aurait $x = \infty$) du moins lorsque les températures considérées sont relativement élevées, comme dans le cas qui nous intéresse. Le tableau suivant résume ces résultats (1) :

Pression absolue de combustion p.	5	10	15	20	25	30	40
Température de combustion T_2 . .	1 120	1 305	1 533	1 680	1 780	1 880	2 050
Température d'ébullition θ	425	453	472	488	498	503	523
Chaleur de la vapeur λ_{T_2}.	990	1 130	1 230	1 230	1 390	1 490	1 580
Chaleur de la vapeur λ_{T_3}.	790	790	790	790	790	790	790
Rendement thermique ρ pour la vapeur . .	0,20	0,30	0,36	0,40	0,43	0,47	0,50
Rendement thermique ρ pour les gaz. . . .	0,34	0,43	0,47	0,52	0,55	0,57	0,60
Rendement total $\eta\rho$ pour la vapeur . .	0,14	0,21	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35
Rendement total $\eta\rho$ pour les gaz. . . .	0,11	0,16	0,18	0,22	0,25	0,26	0,28

(1) Dans l'hypothèse $x = \infty$ $T_3 = 700$ degrés et échappement à la pression atmosphérique. Si l'échappement avait lieu sous pression réduite, les chiffres seraient modifiés.

On voit que le rendement thermique du cycle de la vapeur est moins bon que celui du cycle des gaz, mais si l'on considère le rendement total $\rho\eta$, en admettant que la turbine ait un rendement de 0,7 et le compresseur (avec sa transmission) un rendement égal aussi à 0,7, les résultats sont inversés. Cela tient à ce que le travail de compression est supprimé dans le cas de la vapeur.

On doit conclure de cette analyse que l'injection d'eau est plus avantageuse que l'introduction d'un excès d'air de combustion, surtout par suite de la diminution qu'elle permet de réaliser sur les dimensions du compresseur nécessaire.

Il y a lieu de rechercher si l'eau injectée ne risque pas de se dissocier dans les conditions de température et de pression qui caractérisent le régime de la chambre de combustion.

Il n'en est rien, selon toute probabilité, car la dissociation ne commence sous la pression atmosphérique qu'à 1 300 degrés absolus et la tension de dissociation n'atteint la valeur 0,5 qu'à 2 100 degrés absolus. Il ne doit donc pas y avoir de dissociation appréciable aux pressions que nous envisageons, et il ne peut pas y en avoir non plus pendant la détente, car la loi d'abaissement de la température en fonction de la pression est très rapide.

Injection, dans la chambre de combustion, de vapeur produite dans un récupérateur.

On peut se proposer encore de remplacer l'introduction d'un excès d'air dans la chambre de combustion par une injection de vapeur. Si cette vapeur devait être obtenue en brûlant du combustible dans une chaudière, le résultat obtenu serait le même que dans le cas d'une injection d'eau qui vient d'être étudié. Mais on aurait l'inconvénient des pertes de calorique dans une chaudière séparée, de la complication résultant de cet organe supplémentaire et, d'ailleurs, il faudrait injecter beaucoup plus de vapeur pour produire le même effet (1).

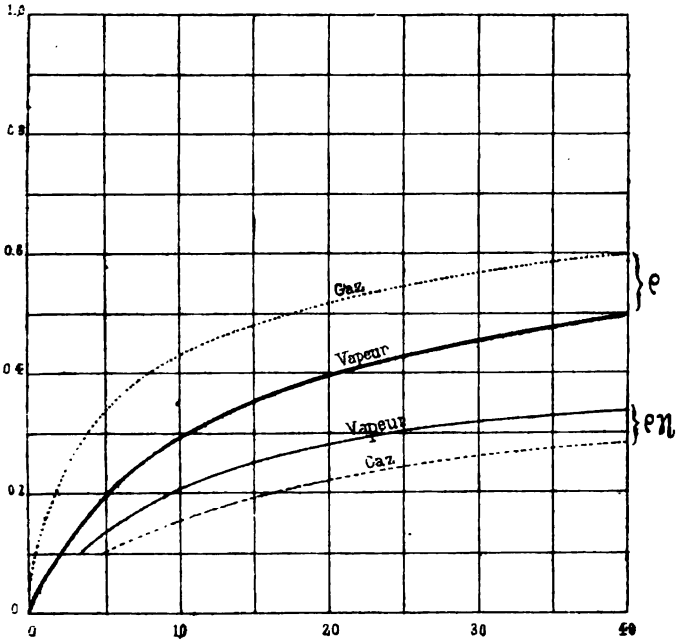
L'injection de vapeur dans la chambre de combustion n'est intéressante que si cette vapeur est obtenue dans un récupérateur au moyen des chaleurs perdues de la turbine à gaz. Exami-

(1) Dans le cas où l'on suppose comme précédemment $x = \infty$, la chaleur totale absorbée par l'injection de 1 kg d'eau à l'état liquide est à 1,5 à 2,5 fois plus forte que si l'eau est injectée à l'état de vapeur à 0 degrés.

nons ce cas en raisonnant toujours comme si la tension de vapeur dans le mélange était égale à la pression de combustion.

L'échappement ayant lieu à 700 degrés absolus, chaque kilogramme de gaz brûlés emporte 92 calories. Chaque kilogramme d'eau entraine 790 calories, mais 153 calories seulement sont récupérables sans condensation (chaleur sensible) si l'on échappe à la pression atmosphérique. (Le résultat serait amélioré si l'on

Fig. 29 - RENDEMENTS COMPARÉS EN FONCTION DE $\frac{p_1}{p_0}$



échappait sous pression réduite et si l'on tenait compte dans le calcul de ce que la tension de vapeur est inférieure à celle du milieu dans lequel se fait l'échappement.)

Si donc x kg d'eau se trouvent additionnés à 1 kg de gaz brûlés, on pourra récupérer $92 + 153\,x$ calories et l'on en récupérera effectivement $\mu\,(92 + 153\,x)$ ce qui permettra de vaporiser un poids d'eau x donné par

$$\mu\,(92 + 153\,x) = (q + r)\,x,$$

d'où :

$$x = \frac{92}{\frac{q+r}{\mu} - 153}.$$

Le poids de vapeur que l'on pourra injecter est donc ici bien défini et assez limité. Soit θ la température d'ébullition correspondant à la tension de la vapeur d'eau dans le mélange, chaque kilogramme de vapeur injectée absorbera une quantité de chaleur égale à $\overline{C_{p\theta T_2}}(T_2 - \theta)$. Cette quantité est calculée ci-dessous en admettant pour simplifier que θ est égal à la température d'ébullition sous la pression p (Tableau p. 249).

L'injection d'eau absorbant γ calories par kilogramme de gaz brûlés, on peut donc augmenter l'introduction de chaleur d'une quantité égale sans modifier les températures T_2 et T_3 (pourvu que la puissance calorifique du combustible le permette).

On trouve ainsi, en admettant un même rendement pour le récupérateur (0,75 par exemple), que l'effet utile total ainsi obtenu diffère très peu de celui que l'on obtient avec un récupérateur réchauffant l'air comprimé. Seulement la consommation d'air par cheval effectif est moindre, ce qui présente un avantage pratique sérieux.

Ce procédé est surtout indiqué dans le cas où l'on dispose d'un combustible permettant de fortes introductions de chaleur et si l'on travaille avec échappement sous pression réduite.

Nous pourrons concevoir le récupérateur comme constitué par une chaudière Serpollet ou du genre de celle proposée par le colonel Renard. Les gaz entrant à 700 degrés dans ce récupérateur en sortiraient vers 400 degrés absolus. L'eau réchauffée de 0 à 450 ou 500 degrés absolus serait vaporisée à cette dernière température sous une pression de 5,30 atm par exemple. On calculera aisément que la chute moyenne de température atteindrait environ 100 degrés dans la chaudière et 75 dans le réchauffeur, d'où une transmission de 3 000 et de 1 500 calories respectivement par mètre carré-heure, exigeant environ 0,0366 m² par kilogramme d'air consommé à l'heure dans la turbine, soit enfin 0,16 m² environ par cheval disponible sur l'arbre, la consommation par cheval-heure étant de 4,25 kg d'air et de 0,51 kg d'eau, pour une pression de combustion de 30 kg.

La surface de chauffe nécessaire serait donc du même ordre de grandeur que celle du condenseur d'une machine marine ordinaire, mais probablement supérieure à celle du récupérateur d'une turbine à gaz effectuant la récupération de gaz à gaz.

En pratique, la vaporisation sous une pression pouvant atteindre et dépasser 30 atm peut paraître une opération difficile à admettre. Mais ce mode de récupération deviendrait tout à fait

Cycles à compression isothermique et combustion isobarique avec injection de vapeur produite par les chaleurs perdues.
Échappement à 700 degrés absolus.

Pression de combustion p_1	5	10	15	20	25	30	40
Température de combustion . . . . . degrés.	1120	1365	1533	1680	1780	1880	2080
Chaleur de la vapeur $q + r$ . . . . . calories.	653	662	668	673	676	677	683
Poids de vapeur x pour $\mu = 0{,}75$ . . . . . kg	0,127	0,126	0,125	0,126	0,123	0,122	0,121
Chaleur Q introduite par kilogramme d'air . . . . . calories.	189	245	282	317	350	375	415
Supplément de vapeur υ rendu possible par l'injection . —	43	59	71	81	88	96	103
Total de la chaleur introduite . . . . . —	232	304	353	398	433	471	524
Calories emportées par les gaz	92	92	92	92	92	92	92
— — par la vapeur	19,5	19,3	19,1	19	18,9	18,7	18,5
— — dans le compresseur	33	48	56	62	67	71	76
Équivalent du travail utile $\mathcal{E}u$	87	145	186	225	260	289	337
Rendement thermique ρ	0,375	0,475	0,525	0,565	0,575	0,615	0,640
Rendement mécanique η	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52	0,536
Effort utile total $\rho\eta$	0,16	0,22	0,25	0,28	0,31	0,32	0,34
Travail effectif net par kilogramme d'air $\eta\mathcal{E}u$	38	67	90	112	132	150	180
Rapport $\frac{\mathcal{E}c}{\mathcal{E}u}$	0,38	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23
Rapport des puissances $\frac{Nc}{Nu}$	1,26	1,03	0,30	0,80	0,72	0,68	0,60
Consommation d'air par cheval-heure	17,0	9,5	7,1	5,7	4,8	4,3	3,5

simple dans le cas où l'on échappe sous pression réduite. La pression de combustion étant par exemple de 5 à 10 atm et la pression d'échappement 1/5, la chaudière-récupérateur fonctionnerait sous 5 à 10 kg seulement de pression. La chute de température serait sensiblement accrue, ce qui faciliterait la transmission. D'autre part, le rendement du cycle de la vapeur serait amélioré.

Dans ce système, en employant à la production du gaz un gazogène genre Gardie fonctionnant sous 5 à 10 kg de pression, on pourrait éviter de perdre la chaleur sensible du gaz et augmenter ainsi la proportion d'eau ou de vapeur injectée.

Remarquons enfin que, dans les compresseurs à injection d'eau, la vapeur produite par l'eau injectée évolue avec la masse gazeuse et permet d'augmenter l'introduction de chaleur, ce qui améliore le rendement.

Emploi de fortes injections d'eau combiné avec celui d'un comburant très riche. Turbines a oxygène liquide.

On peut noter, à titre de curiosité, que, s'il était possible d'employer comme comburant de l'oxygène pur, le poids total des gaz brûlés serait environ quatre fois moindre, et, par suite, l'introduction de chaleur par kilogramme de gaz devenant quadruple pourrait atteindre 2000 calories (par kilogramme). L'injection d'eau dans la chambre de combustion pourrait prendre une valeur considérable. La turbine mixte ainsi obtenue n'exigerait plus qu'un compresseur de dimensions très réduites et d'une très faible puissance, lequel pourrait même être remplacé par une simple pompe centrifuge à haute pression si l'on utilisait de l'oxygène liquide.

La machine comprendrait seulement trois pompes de ce genre : l'une pour l'oxygène, l'autre pour le pétrole et la troisième pour l'eau, un faisceau tubulaire chauffé par les gaz de l'échappement réchauffant méthodiquement l'eau et évaporant l'oxygène liquide et enfin la chambre de combustion et la turbine.

La température de combustion restant la même que précédemment, la température d'échappement pourrait s'abaisser considérablement grâce aux calories absorbées par la vaporisation de l'oxygène, de sorte que le rendement thermique serait au moins égal à celui calculé plus haut.

Quant au rendement mécanique η, en négligeant le travail absorbé par les pompes, il serait voisin de 0,70 par suite de la suppression du compresseur. L'effet utile $\rho\eta$ pourrait atteindre (0,70 à 0,75) $\times$ 0,70 soit environ 50 0/0. Toutefois la quantité de travail utile disponible par kilogramme de mélange étant plus forte, la vitesse d'écoulement de ce mélange serait encore plus élevée que dans le cas ordinaire et le rendement mécanique η_t de la turbine moindre.

Mais une machine de ce genre présenterait une légèreté extraordinaire. Il est vrai qu'il faudrait emporter 4 kg d'oxygène liquide et 5 kg d'eau par kilogramme de pétrole, mais dans certaines applications le résultat final serait encore très favorable.

Cette application des turbines à gaz est plutôt du domaine des curiosités scientifiques, mais il n'est pas absurde de l'envisager. M. Caïlletet n'a pas hésité à proposer un dispositif analogue dans le cas de moteurs légers (à piston) destinés à la navigation aérienne ou sous-marine.

b. — Limitation de la température de détente.

Injection d'eau, de vapeur ou de gaz froids après détente.

Si l'on refroidit extérieurement la tuyère de détente, la détente n'est plus adiabatique et l'on ne peut plus soumettre l'évolution au calcul. Mais toute l'énergie soustraite ainsi est évidemment perdue.

Il n'en est plus tout à fait de même si l'on refroidit les gaz détendus par une injection d'eau, la vapeur formée augmentant la masse du fluide. Néanmoins, à 700 degrés et sous la pression atmosphérique, les 8/10 des calories absorbées par l'injection sont perdues et absorbées par la vaporisation proprement dite.

On peut être tenté de recourir à une injection de vapeur. Si la vitesse de cette vapeur est inférieure à celle du courant gazeux il se produit, comme nous le verrons plus loin, une perte d'énergie importante. Supposons donc que la vitesse des deux courants soit la même. Il faudra, pour cela, que la vapeur ait été produite à une pression supérieure à celle des gaz dans la chambre de combustion. Passons sur cette difficulté. Pour obtenir un meilleur résultat que dans le cas de l'injection d'eau, il faudra que la vapeur ait été produite au moyen des chaleurs perdues.

Dans ces conditions, et en admettant que la vapeur détendue

soit encore saturée et sèche ou légèrement surchauffée, et en appelant x le poids de cette vapeur envoyée dans 1 kg d'air qui se calculera comme précédemment, on pourra calculer la température T'_3 des gaz détendus :

$$Cp(T'_3 - 700) = 0{,}48(T'_3 - 373)x.$$

D'où
$$T'_3 = \frac{167 - 180x}{0{,}24 - 0{,}48x}.$$

On peut ainsi calculer la nouvelle température de combustion, la nouvelle introduction de chaleur et le nouveau rendement :

$$\rho' = \frac{Q' - (150x + 92 + A\mathfrak{C}_r)}{Q'}.$$

Avec un coefficient de récupération de 0,75 on peut injecter 12 à 13 0/0 d'eau et admettre une température finale de détente des gaz de 800 degrés absolus au lieu de 700.

On trouve ainsi que, pour une compression donnée, l'effet utile est légèrement inférieur à celui que l'on obtient en injectant la vapeur avant détente. En pratique, l'injection après détente offrirait en outre des difficultés considérables d'ordre cinétique.

Examinons l'injection de gaz froids.

Injection de gaz froids a faible vitesse.

M. Stodola a montré comme suit que le mélange de deux courants gazeux animés de deux vitesses différentes w_1 et w_2 donne lieu à une perte d'énergie cinétique importante.

Il y a lieu de considérer deux cas. Le premier correspond à l'emploi d'une chambre de mélange évasée de manière à réaliser l'opération sans que la pression s'élève. Le second correspond à l'utilisation d'une chambre cylindrique qui conduit à une élévation de la pression en aval.

En appelant dP_x la force qui agit suivant l'axe sur un élément dm et en appelant Π_1, Π_2 et $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2$ les débits en poids, le théorème des forces vives donne :

$$\frac{ndt}{g} w - \left(\frac{n_1 dt}{g} w_1 + \frac{n_2 dt}{g} w_2\right) = \Sigma dt dP_x,$$

d'où l'on tire
$$\Pi w = \Pi_1 w_1 + \Pi_2 w_2.$$

Cette formule est celle du choc non élastique et la perte d'énergie est :

$$Z = \frac{1}{2}\left(\frac{\Pi_1}{g} w_1^2 + \frac{\Pi_2}{g} w_2^2\right) - \frac{1}{2}\frac{\Pi}{g} w^2.$$

En appelant T_3 et θ les températures respectives des deux courants gazeux avant le mélange et T'_3 la température après mélange on a :

$$\Pi_1(T_3 - T'_3)Cp + \frac{Z}{A} = \Pi_2(T'_3 - \theta\ Cp.$$

Ces trois relations permettent de calculer les températures et le rendement.

Considérons un instant le cas extrême où l'on injecte le gaz froid sans vitesse.

On a $w_2 = 0$ et $\qquad w = \frac{\Pi_1}{\Pi} w_1 \qquad$ d'où $Z = \frac{\Pi_1 \Pi_2}{\Pi} \frac{w_1^2}{2g}$.

Le rapport ε de l'énergie perdue à l'énergie disponible dans le courant gazeux avant le mélange a donc pour valeur, dans ce cas particulier :

$$\varepsilon = \frac{\Pi_2}{\Pi}.$$

Par exemple pour $\Pi_1 = 1$ kg, si l'on cherche à ramener la température à $T'_3 = 700$ degrés en injectant Π_2 kg d'air sans vitesse à 300 degrés absolus ($\theta = 300$), le cas limite correspondant à $T_3 = T'_3$ sera atteint pour $\frac{Z}{A} = 95\ \Pi_2$.

Soit χ l'équivalent en chaleur de l'énergie cinétique de 1 kg de gaz brûlés, avant mélange, on aura $\frac{Z}{A} = \frac{\Pi_1}{\Pi}\chi$, d'où $\frac{\Pi_2}{\Pi}\chi = 95\Pi_2$, d'où $\Pi = \frac{\chi}{95} - 1$.

Par exemple, pour	$\chi =$ 100,	200,	300,	400	calories,
on aura	$\Pi_2 \geqslant$ 0,05,	1,10,	2,15,	3,20	—
et	$\varepsilon \geqslant$ 0,05,	0,52,	0,68,	0,76	—

On perd donc une fraction considérable de l'énergie cinétique du courant gazeux, dès que cette dernière atteint une valeur notable.

Supposons maintenant que l'on ait adopté une chambre de mélange cylindrique. La pression en aval de la zône de mélange est alors plus élevée qu'en amont. M. le professeur Stodola, qui a soumis cette question au calcul trouve qu'il existe deux solutions et que la vitesse du mélange peut prendre deux valeurs distinctes. L'une correspond à un mélange simple avec perte d'énergie cinétique et échauffement relativement faibles. L'autre correspondrait à une vitesse supérieure à celle du son et à l'existence d'un choc de compression comme ceux dont on parlera plus loin.

Quoi qu'il en soit le mélange ainsi effectué n'est pas plus avantageux que dans le cas précédent et il n'y a rien à tirer de ces idées, pas plus d'ailleurs que de celle reposant sur un mélange progressif dans des chambres successives.

Injection de gaz froids a la vitesse du courant principal.

Supposons maintenant que l'on imprime aux gaz froids au moyen d'un ventilateur, par exemple, une vitesse égale à celle du courant principal et que l'on ait soin de réaliser le mélange sans augmentation de pression en employant une chambre convenablement évasée. Dans ce cas la perte d'énergie est nulle en théorie.

Mais il faut dépenser dans le ventilateur une quantité d'énergie équivalente à la force vive nécessaire. Dès lors la question se pose ainsi : est-il plus avantageux de comprimer tout l'air employé et de l'envoyer en totalité dans la chambre de combustion ou de n'en comprimer qu'une partie à la pression de combustion et de faire passer le reste dans un ventilateur desservant les chambres de mélange.

Supposons par exemple qu'on dispose d'un combustible capable de permettre une introduction de 520 calories environ par kilogramme de mélange. Si nous comprimons à 10 kg nous ne pourrons introduire que 260 calories environ par kilogramme pour échapper à 700 degrés. Supposons que l'on maintienne l'introduction à 520 calories. On aura la température de combustion de 2 500 degrés et l'on échappera à 1270 degrés. L'énergie cinétique sera équivalente à 290 calories par kilogramme de gaz. Pour ramener la température de 1270 à 700 il faudra mélanger à 1 kg de gaz brûlés 1,32 kg d'air et l'énergie cinétique à impri-

mer à cet air froid devra être équivalente à $1{,}32 \times 290 = 410$ calories.

On aura dès lors à la sortie de la chambre de mélange une énergie cinétique équivalente à $290 + 410 = 700$ calories pour 2,32 kg de mélange. On recueillera en travail sur l'arbre $0{,}7 \times 700 = 400$. Or le travail indiqué du compresseur équivaut à 48 calories et celui du ventilateur à 410, au total 458. Il faudrait un rendement de 0,94 pour chacune de ces machines pour qu'elles n'absorbent pas plus de travail que la turbine motrice n'en produit.

L'injection de gaz froids ne peut donc donner aucun résultat.

Chapitre V

Cycles combinés

Adaptation d'une seconde machine thermique à l'utilisation des chaleurs perdues.

On peut proposer d'utiliser les chaleurs perdues d'une turbine à gaz en vue d'actionner une seconde turbine, à gaz sulfureux par exemple, ou même une turbine à vapeur. Nous avons montré en effet qu'on dispose de gaz s'échappant à 700 degrés et qu'il n'est pas avantageux de chercher à abaisser cette température par une diminution de l'introduction de chaleur.

D'autre part la chaleur soustraite aux gaz pendant la compression peut leur être enlevée au moins en partie par une circulation d'eau dans la double enveloppe du compresseur et par des faisceaux tubulaires refroidisseurs, La chaleur disponible de ce fait atteint une importance comparable à celle dont on dispose dans les gaz de l'échappement mais à une température beaucoup moins élevée, puisque théoriquement cette température ne devrait pas dépasser celle de l'atmosphère et en tout cas pas plus de 50 à 100 degrés. Il faut donc recourir à un corps analogue à l'acide sulfureux si l'on veut utiliser ces calories dans une machine secondaire.

On dispose au total de 150 à 200 calories par kilog de gaz brûlés. Si l'on emploie comme machine secondaire une turbine à vapeur d'eau à 20 kg de pression, surchauffée à 700 degrés absolus et

avec condensation, le rendement thermique $\rho = \frac{\lambda_{700} - \lambda_{320}}{\lambda_{700}}$ $= \frac{843 - 620}{843} = 0{,}265$ (1) et l'effet utile total $\rho\eta = 0{,}70 \times 0{,}265$ $= 0{,}185$ environ.

Or, si la vapeur avait participé à l'évolution des gaz brûlés elle aurait donné un effet utile voisin de 0,30.

On peut se proposer de remplacer la vapeur d'eau par un gaz facilement liquéfiable comme l'acide sulfureux. D'après les résultats obtenus par le professeur Josse on peut recueillir un cheval indiqué, au moyen de la machine secondaire, en consommant 7 800 calories et même avec 5 000 calories seulement si l'on travaille à 25 atm de pression (90 degrés) et 2 atm au condenseur. Ce dernier chiffre donne un rendement thermique de 0,127 ou un effet utile net de $0{,}7 \times 0{,}127 = 0{,}089$. Ce résultat pourrait être grandement amélioré si l'on admettait la possibilité d'une surchauffe du gaz sulfureux sans attaque du métal de la turbine actionnée par ce gaz.

Quoi qu'il en soit, la turbine secondaire permettra de récupérer soit 150 à 200 calories $\times$ 0,09 = 14 à 18 calories si l'on emploie le gaz sulfureux, soit $92 \times 0{,}185 = 17$ calories si l'on emploie l'eau, en admettant un coefficient de récupération μ égal à l'unité. Dès lors pour $\mu = 0{,}75$ on recueillerait environ un travail équivalent à 13 calories par kilogramme de gaz. Or le travail mécanique net $\eta\mathcal{C}u$ réalisable par kilogramme de gaz avec ou sans récupération varie entre 25 calories et 200 calories quand la pression de combustion varie elle-même de 5 à 100 atmosphères.

Le travail récupérable dans une machine secondaire est donc trop peu important pour qu'il soit intéressant de recourir à une machine distincte (2) en vue de le récupérer.

(1) Ce résultat est d'ailleurs conforme à la pratique car il conduit à une consommation de 4 kg de vapeur par cheval-heure et l'on a déjà obtenu des consommations inférieures à 4,6 kg.

(2) En pratique l'importance relative du travail récupéré serait un peu plus grande, car toutes les pertes d'énergie ont pour effet d'augmenter le nombre de calories disponibles dans les gaz de l'échappement, ce dont nous n'avons pu tenir compte.

CHAPITRE VI

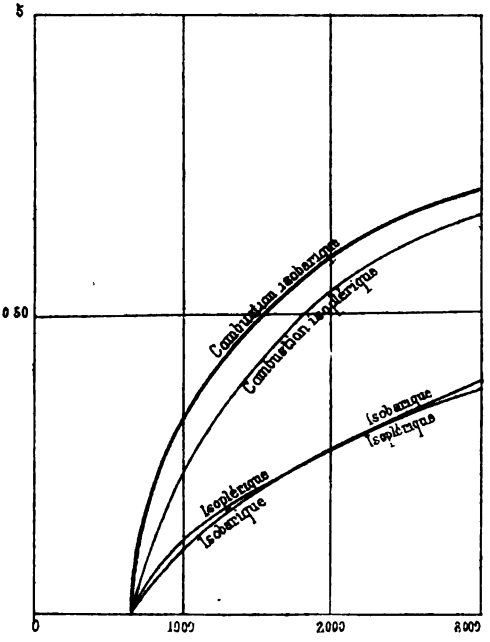
Conclusions de l'étude thermodynamique des turbines à gaz

MODE D'ÉVOLUTION A ADOPTER. — RENDEMENT PROBABLE.
EFFET PROBABLE DES DIVERGENCES ENTRE NOS HYPOTHÈSES ET LA RÉALITÉ.

L'étude des turbines à gaz au point de vue thermodynamique ne fait apparaître en résumé aucune combinaison capable de donner des résultats extraordinairement différents de ceux que fournissent les moteurs à gaz perfectionnés.

Les grands rendements thermiques probables sont en effet compensés par la faiblesse du rendement mécanique. Mais celui-ci est perfectible, de sorte qu'il reste une marge de progrès d'autant plus encourageante pour l'avenir.

Fig. 30 - RENDEMENTS EN FONCTION DE T_2



L'analyse à laquelle nous nous sommes livrés a montré en résumé :

1° Que la combustion sous volume constant, comparée au mode de combustion sous pression constante, fournissait pour une même compression initiale un meilleur rendement en même temps qu'elle permettait d'employer un compresseur moins important. Mais la valeur absolue du rendement n'est pas supérieure, car on est limité plus vite par la limite maxima admissible de la température de combustion T_2. Il en est de même pour la puissance spécifique ou pour la consommation d'air par cheval-heure.

Ce mode d'évolution n'est donc avantageux qu'au point de vue du rapport de compression nécessaire. Cela n'en présenterait pas moins un sérieux avantage surtout si l'on pouvait ainsi se contenter de compresseurs purement rotatifs. Mais en pratique le rendement mécanique serait faible à cause des pertes d'ordre cinétique dans l'écoulement sous régime variable et des autres inconvénients des explosions. En définitive la turbine à explosion n'est applicable qu'aux très petites puissances, pour des machines légères dans lesquelles le rendement n'offre qu'une importance secondaire et sans compression préalable.

2° La combustion isothermique exigerait des rapports de compression excessifs et serait d'ailleurs pratiquement irréalisable.

3° Par suite le meilleur mode d'évolution correspond pour les turbines à gaz au cycle des moteurs dits à combustion, savoir, combustion sous pression constante avec compression préalable isothermique.

4° Pourvu que le rapport des pressions extrêmes ait une valeur donnée, il est indifférent que ces pressions soient faibles ou fortes en valeur absolue. Par suite il y a intérêt à ce point de vue à échapper sous pression réduite et l'on facilite ainsi l'application des ventilateurs multi-cellulaires.

5° La température d'échappement doit être aussi élevée que possible eu égard à la conservation des roues mobiles. Il serait illusoire de chercher à l'abaisser en prolongeant la détente par l'addition d'une pompe à air.

6° La meilleure façon d'utiliser les chaleurs perdues à l'échappement consiste dans la récupération simple de gaz à gaz au moyen d'un réchauffeur tubulaire. La récupération au moyen d'une chaudière à vapeur ne devient intéressante que pour les combustibles *très riches* et le mieux est alors d'envoyer la vapeur dans la chambre de combustion.

On peut se demander maintenant quelle peut être l'importance probable des écarts que l'expérience fera constater entre les résultats théoriques ainsi calculés et les résultats pratiques réalisables dans les machines que l'on pourra construire.

Comme dans les moteurs à gaz ordinaires, mais probablement à une échelle moindre, les cycles pratiques différeront en effet des cycles théoriques calculés ci-dessus.

Et d'abord en ce qui concerne la *compression*. Le mode isothermique ne peut être réalisé mathématiquement, d'où deux différences entre la théorie et la pratique. D'une part, augmentation

du travail de compression; d'autre part, élévation de la température des gaz comprimés réduisant d'autant la valeur de Q et par suite la puissance spécifique, etc...

Les résultats pratiques seront donc intermédiaires entre ceux calculés dans le cas d'une compression isothermique et ceux correspondant à la compression adiabatique. Mais comme on l'a vu l'écart n'est pas énorme, de sorte qu'en admettant comme nous l'avons fait une faible valeur du rendement mécanique η_c on tient compte suffisamment de cet écart.

En ce qui concerne la *combustion* il y a lieu de tenir compte de divergences plus importantes entre la théorie et la pratique.

D'abord nous avons supposé que la réaction s'effectue dans une enceinte rigoureusement adiabatique. En pratique il n'en sera pas ainsi et, malgré nos précautions contre le refroidissement, il y aura de ce fait une perte de chaleur.

Ensuite la combustion pourra n'être pas complète, d'où perte d'une partie du combustible, ou accompagnée d'une dissociation partielle (d'ailleurs peu probable sous 30 à 40 atm de pression).

Ces trois causes ont un même effet : majoration du poids de combustible consommé par cheval-heure. Mais il ne s'ensuit pas d'altération proprement dite dans l'évolution, surtout si le combustible est liquide (ou solide) car la quantité de combustible supplémentaire à injecter ne modifie pas le travail de compression.

La chaleur spécifique des produits de la combustion diffère en réalité de celle de l'air et d'autre part varie avec la température, de sorte que la valeur admise pour la température de combustion est probablement supérieure à la valeur réelle. Il s'ensuit que l'introduction de chaleur est plus limitée que dans nos calculs, du moins dans le cas où cette limite est fixée par la puissance calorifique du combustible. Mais comme ce cas limite ne se présente pour ainsi dire jamais, le seul effet résultant de ce désaccord entre la théorie et les résultats de l'expérience est de diminuer la quantité d'air de dilution nécessaire.

Enfin la *détente* n'est pas rigoureusement adiabatique et la forme de la courbe de détente n'est pas rigoureusement celle qui correspondrait à la relation $pv^{1,41} = \text{constante}$.

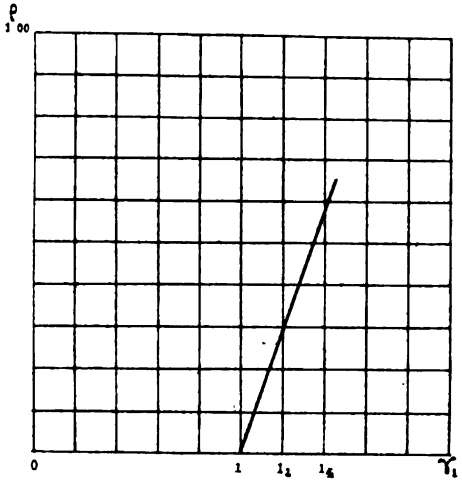
D'un côté il se produit une perte de chaleur qui peut être très faible, mais ne saurait être rigoureusement nulle. D'autre part le frottement réchauffe le gaz dans une certaine mesure. L'expérience seule permettra de reconnaître la vraie loi de détente.

En tout cas l'exposant γ de la formule diffère de 1,41 parce que l'on a affaire à des gaz autres que l'air et parce que le rapport $\frac{C}{c}$ n'est pas constant lorsque la température varie dans des limites très étendues.

Cependant même en tenant compte de la variabilité des chaleurs spécifiques avec la température, M. Vermand a montré que la loi de Poisson reste exprimée sensiblement par la relation pv^{γ} = constante avec $\gamma = 1 + \frac{AR}{a}$ dans laquelle $a = 0{,}162$, de sorte que pour l'air $\gamma = 1{,}441$.

Si l'on se basait sur les résultats obtenus dans certains essais sur des moteurs à gaz, on serait conduit à admettre pour γ des valeurs telles que 1,3 ou 1,2. Les résultats correspondants différeraient notablement de ceux calculés plus haut.

Fig. 31



Ainsi pour obtenir à l'échappement une température théorique de 700 degrés avec une pression de combustion de 30 atm, il faut réaliser une température de combustion de 1 880 degrés en introduisant 375 calories par kilogramme d'air. Tels sont du moins les résultats obtenus plus haut pour $\gamma = 1{,}4$ (on avait $\rho = 0{,}57$).

Si l'on a maintenant $\gamma = 1{,}3$ ou $\gamma = 1{,}2$, on trouvera

$$\left(\text{comme } \frac{T_2}{T_0} = 30^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)$$

$\frac{\gamma-1}{\gamma} = 0{,}23$;	$\frac{\gamma-1}{\gamma} = 0{,}17$;
$T_2 = 1\,526°$;	$T_3 = 1\,253°$;
$Q = 295$;	$Q = 230$;
$\rho = 0{,}45$;	$0{,}29$.

Le rendement est influencé, comme on le voit, à un point extraordinaire pour la variation de γ et le graphique *(fig. 31*

montre qu'il varie à peu près proportionnellement à $(\gamma - 1)$ du moins dans le cas où nous nous sommes placés d'un cycle à combustion sous pression constante avec compression isothermique (1).

Il est bon de rappeler que les valeurs théoriques de $\gamma = \frac{C}{c}$ sont les suivantes à 0 degré et sous la pression de l'atmosphère :

H, O, Az, Air, CO.	1,41
H^2O	1,34
CO^2.	1,29

Dans les moteurs à gaz à piston et à explosion, on a déduit de la forme de la courbe de détente la valeur de l'exposant γ et l'on a trouvé des chiffres compris entre 1,3 et 1,6. Mais dans ces machines l'action de paroi joue un rôle important, tandis que dans la tuyère de détente d'une turbine à gaz, cette action est réduite au minimum puisqu'il s'agit d'un écoulement sous régime constant.

Quoi qu'il en soit, la véritable loi de détente dans une tuyère de turbine constitue la principale *inconnue d'ordre pratique* qui se présente à nous dans la turbine à gaz. On a même prétendu que γ pourrait devenir égal à 1 et que la détente ne serait accompagnée d'aucune chute de température et, par suite, ne serait capable de produire aucun effet utile (2).

Certains expérimentateurs n'ont pu déceler au moyen d'observations thermométriques la chute de température obtenue et ont attribué ce fait à la chaleur dégagée par le frottement des gaz contre l'organe thermométrique.

Il n'y a pas lieu de s'attarder devant cette objection. La détente suit sans aucun doute une loi analogue à celle résultant de la formule de Poisson $pv^\gamma = \text{constante}$, mais l'expérience seule dira quelle est la vraie valeur de γ et, par suite, du rendement.

Enfin il y a lieu de signaler dans nos calculs une dernière source de divergences entre la théorie et la pratique. C'est celle qui résulte de l'inexactitude relative des lois physiques simples que nous avons acceptées pour la commodité de l'exposé : lois de Mariotte, de Gay-Lussac, constance des chaleurs spécifiques, etc.

(1) Le rendement thermique s'annulerait pour $\gamma = 1$, car on aurait $\frac{T_2}{T_0} = (30)^0 = 1$. Q serait alors nul.

(2) Lucke.

On trouve dans tous les ouvrages les formules plus précises qui ont été substituées à ces lois simples. La précision qu'elles permettent d'obtenir serait sans intérêt pour nous, car les incertitudes inévitables dans ces questions rendent illusoire cet excès de précision.

Influence de la nature du combustible.

Avant d'abandonner l'étude thermodynamique des turbines à gaz, il y a encore lieu de rechercher si la nature du combustible peut présenter une importance sérieuse au point de vue des rendements réalisables.

Pour réaliser les cycles les plus avantageux, il faut, d'après ce qu'on a vu, introduire 375 à 415 calories si l'on ne fait pas d'injection et 470 à 524 calories si l'on fait une injection de vapeur (pour une pression de combustion de 30 à 40 atm).

Or, même les gaz combustibles pauvres comme le gaz Dowson et le gaz des hauts fourneaux à 800 calories permettent d'introduire environ 460 calories par kilogramme de mélange et les gaz riches (gaz d'éclairage, acétylène), donnent 500 à 600 calories.

La nature du combustible n'a donc pas une grande influence à ce point de vue. La composition des gaz brûlés diffère également assez peu avec les divers combustibles, de sorte que les chaleurs spécifiques de ces gaz sont assez voisines. Par suite, les cycles calculés en tenant compte de la composition vraie du mélange concordent suffisamment avec ceux que nous avons étudiés en nous basant sur les propriétés de l'air.

Il en résulte également que le poids total des gaz à comprimer diffère peu et il en est de même du travail de compression. Lorsqu'on emploie un combustible liquide, il faut plus d'air par kilogramme de combustible qu'avec un combustible gazeux.

C'est une erreur de dire, comme certains auteurs, que les combustibles gazeux seront moins faciles à employer dans les turbines à gaz que les combustibles liquides. La chose peut être exacte pour les moteurs genre Diesel, parce que dans ces moteurs à marche intermittente la question de l'allumage joue un rôle important; mais, à part la complication nécessitée par la présence de deux compresseurs distincts, la compression n'est pas plus onéreuse lorsque le combustible est gazeux. D'ailleurs, dans les turbines à gaz, la combustion étant continue, l'allumage ne joue qu'un rôle secondaire.

COMPOSITION DU MÉLANGE	DONNÉES THERMIQUES			COMPOSITION CENTÉSIMALE DES GAZ BRULÉS (en poids 0/0)				POIDS DU LITRE de mélange brûlé à 0° et 76°
	Q	C	γ	H^2O	CO^2	Az	O	
	calories							gr
Gaz d'éclairage + 6 vol. d'air	574	0,355	1,422	12,7	12,0	73,0	2,3	1,23
Gaz Dowson + 1,2 vol. d'air.	463	0,334	1,433	9,5	23,5	66,5	0,5	1,38
Gaz de haut fourneau + 0,8 vol. d'air.	456	0,312	1,419	4,6	33,0	62,0	0,4	1,40
Acétylène + 20 vol. d'air	625	0,302	1,433	3,1	14,9	74,0	8,7	1,31
Pétrole à 10000 calories + 23 kg d'air.	415	»	»	»	»	»	»	»

COMPOSITION DU MÉLANGE	POIDS du MÈTRE CUBE de gaz brûlés à 0° et 760°	POIDS D'AIR par kilogr. de gaz brûlés	VOLUME D'AIR par kilogr. de gaz brûlés	VOLUME DE GAZ par kilogr. de gaz brûlés	VOLUME D'AIR + volume de gaz par kilogr. de gaz brûlés	PAR 100 CALORIES INTRODUITES il faut comprimer au total air + gaz	
	kg	kg	m^3	m^3	m^3	kg	m^3
Gaz d'éclairage + 6 vol. d'air	1,23	0,94	0,73	0,12	0,85	0,174	0,148
Gaz Dowson + 1,2 vol. d'air.	1,38	0,59	0,46	0,38	0,84	0,215	0,181
Gaz de haut fourneau + 0,8 vol. d'air.	1,40	0,44	0,34	0,42	0,76	0,220	0,166
Acétylène + 20 vol. d'air	1,31	0,96	0,74	0,04	0,78	0,192	0,148
Pétrole à 10000 calories + 23 kg d'air.	»	0,96	0,74	0	0,74	0,192	0,148

Les autres chiffres du tableau ci-dessus ont été calculés par nous en prenant pour base les données relatives à la composition de chacun des mélanges gazeux, données calculées par M. Vermand.

On voit que C_p varie seulement de 20 0/0 et γ de 1 0/0 quand on passe d'un mélange à l'autre.

La composition des gaz brûlés diffère assez peu. L'azote y prédomine (62 à 74 0/0), puis l'acide carbonique (12 à 33 0/0).

L'oxygène n'y figure que dans une proportion très faible, de sorte que l'oxydation des pièces métalliques ne paraît nullement à craindre.

Le nombre de mètres cubes d'air et de gaz qu'il faut comprimer pour réaliser une introduction de chaleur de 100 calories dans le cycle donne une idée de l'encombrement des deux compresseurs (ou du compresseur unique) nécessaires. Comme cette quantité varie de 148 à 180 l, soit de 22 0/0, l'écart n'est pas considérable.

De même le poids total des gaz à comprimer par 100 calories introduites donne une mesure de la *puissance totale* des compresseurs nécessaires. Les limites extrêmes sont 0,17 kg et 0,22 kg, différant de 30 0/0. Les gaz pauvres sont donc moins avantageux à ce point de vue que les mélanges riches.

Nous arrivons donc à cette conclusion que la nature du combustible (liquide ou gazeux) ne présente pas une importance très grande au point de vue du rendement total $\rho\eta$ probable, mais que les mélanges pauvres sont moins avantageux que les mélanges riches, par suite de leur influence défavorable sur le rendement mécanique η résultant de ce que le travail de compression prend une importance plus grande.

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA TURBINE A GAZ AU POINT DE VUE MÉCANIQUE

Écoulement des gaz par une tuyère.

Le principe de la conservation de l'énergie montre que la vitesse de sortie w_2 est donnée, si l'on néglige la vitesse initiale du gaz w_1, par la relation :

$$\frac{w_2^2}{2g} = E(Q - q) = EC_p(T_2 - T_3), \qquad [1]$$

si l'évolution subie par le gaz correspond à une compression isothermique suivie d'une combustion isobarique.

Pour la famille des cycles échappant à 700 degrés, on a :

Rapp^t de compr.	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
$Q-q$ = calories	103	162	200	236	258	283	323	388	430	471
w_2 = m/sec. . .	927	1162	1288	1400	1466	1533	1637	1794	1892	1975

Ces vitesses sont donc supérieures à celles de la vapeur dans les turbines ordinaires dès qu'on dépasse un rapport de compression de 15 à 20.

Par suite et à conditions de construction égales du disque mobile, le rendement du disque proprement dit sera moindre. Heureusement d'autres facteurs agissent en sens inverse en faveur de la turbine à gaz.

La puissance débitée par unité de section terminale des tuyères est plus grande dans le cas de la turbine à gaz. Si les gaz s'échappent à 700 degrés absolus sous la pression atmosphérique, le poids du mètre cube est d'environ 0,5 kg. Le débit en poids atteint par suite :

Pour	w_2 = 1 000 m/s	1 500 m/s	2 000 m/s	les
valeurs	1,8 kg	2,7 kg	3,6 kg	

par millimètre carré de section. La puissance débitée sous forme d'énergie cinétique par millimètre carré de section est donc équivalente aux quantités de chaleur suivantes, si l'on considère la même famille de cycles que précédemment :

Pression de combustion	5	10	20	30	40	60	80	100
Débit en poids (kg)	1,6	2,1	2,5	2,75	2,95	3,20	3,4	3,6
Puissance débitée (calories). .	165	340	590	780	950	1 240	1 460	1 700

Fig. 32

VITESSE DE LA VAPEUR

SORTANT DES TUYÈRES

Cycles à combustion isobarique

échappant à 700° absolus

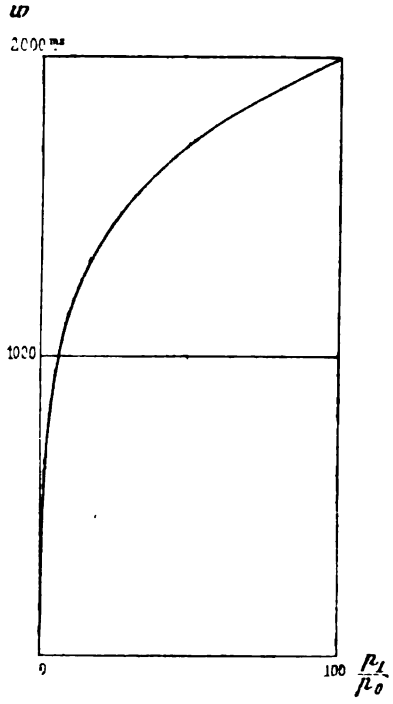
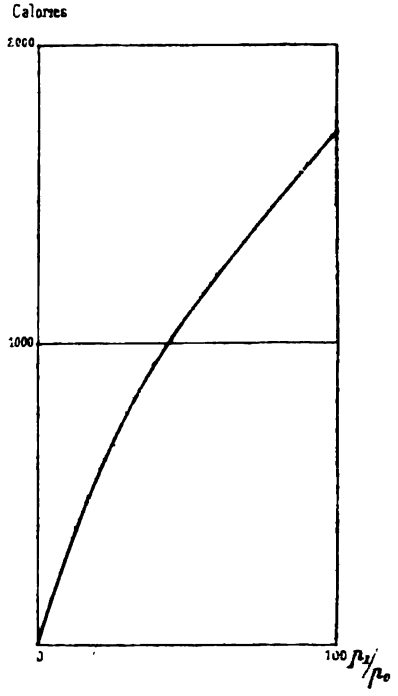


Fig. 33

PUISSANCE (EN CALORIES)

débitée par millimètre carré

de section terminale des tuyères



Si l'échappement a lieu sous pression réduite à $\frac{1}{n}$ d'atmosphère les chiffres de puissance débitée sont réduits dans la même proportion.

Dans une turbine à vapeur à 10 kg de pression et 1/10 d'atmosphère au condenseur le travail débité par millimètre carré de tuyère est équivalent à 60 calories seulement.

Formule de Saint-Venant.

Si le gaz s'écoule dans un canal sans frottement, les pressions initiale et finale étant respectivement ϖ_1 et ϖ_2 et les vitesses w_1 et w_2, l'écoulement adiabatique est régi par la formule de Saint-Venant :

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = \int_{\varpi_2}^{\varpi_1} v d\varpi = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \varpi_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{\varpi_2}{\varpi_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right], \quad [3]$$

ou

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (\varpi_1 v_1 - \varpi_2 v_2). \quad [4]$$

Vitesse d'un gaz s'écoulant d'un réservoir a travers une tuyère.

En admettant que la vitesse à l'entrée w_1 soit négligeable, on aura en un point quelconque de la tuyère, correspondant à la pression p_x, une vitesse w_x donnée par :

$$w_x = \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma - 1} \varpi_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{\varpi_x}{\varpi_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}, \quad [5]$$

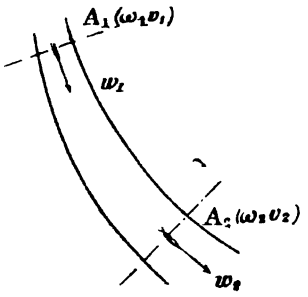
et comme :

$$v_x = v_1 \left(\frac{\varpi_1}{\varpi_x} \right)^{\frac{1}{\gamma}},$$

on a :

$$\Pi = \frac{s_x w_x}{v_x} = s_x \sqrt{\frac{2g\gamma}{\gamma - 1} \frac{\varpi_1}{v_1} \left[\left(\frac{\varpi_x}{\varpi_1} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{\varpi_x}{\varpi_1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]}. \quad [6]$$

Fig. 34



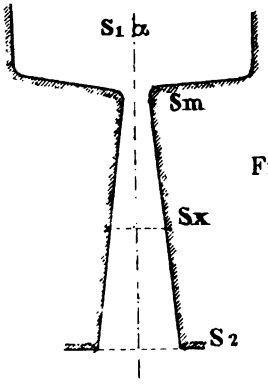


Fig. 35

On trouve aisément que le minimum de s_x $\left(\text{ou de } \frac{v_x}{w_x}\right)$ correspond à une pression ϖ_m donnée par :

$$\frac{\varpi_m}{\varpi_1} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \qquad [7]$$

d'où $$w_m = \sqrt{2g\frac{\gamma}{\gamma+1}\varpi_1 v_1} \qquad [8]$$

et $$\text{II} = s_m\sqrt{2g\frac{\gamma}{\gamma+1}\left(\frac{\varpi_m}{\varpi_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}}\left(\frac{\varpi_1}{v_1}\right)}. \qquad [9]$$

Pour l'air on a $\gamma = 1{,}4$ et par suite :

$$w_m = \left(\frac{2}{2{,}4}\right)^{3.5} \qquad \text{d'où :} \quad \varpi_m = 0{,}529\ \varpi_1.$$

On démontre que p_m ne peut descendre au-dessous de ce chiffre et que w_m ne peut par suite dépasser la vitesse du son (1).

Pour détendre l'air sans perte d'énergie jusqu'à la pression de l'atmosphère ou, d'une manière plus générale, jusqu'à une pression donnée p_2, il faut donc employer :

si l'on a : $\varpi_2 > 0{,}529\,\varpi_1$, une tuyère convergente ;

si l'on a : $\varpi_2 < 0{,}529\,\varpi_1$, une tuyère convergente-divergente.

Ce dernier cas sera le seul à considérer dans nos turbines à air où l'on a toujours $\varpi_2 = 1$ et $\varpi_1 > 1{,}9$ kg.

Longueur et section finale de l'ajutage.

Pratiquement on donne à la partie divergente la forme d'un cône d'ouverture au plus égale à 10 degrés afin d'éviter un décollement de la veine qui ne suivrait plus les parois si l'angle

(1) La vitesse du son dans un gaz dont la densité absolue est D est donnée par la formule de Newton :

$$v = \sqrt{\frac{E}{D}},$$

E coefficient d'élasticité du gaz a pour valeur $\frac{C}{c} \times p$.

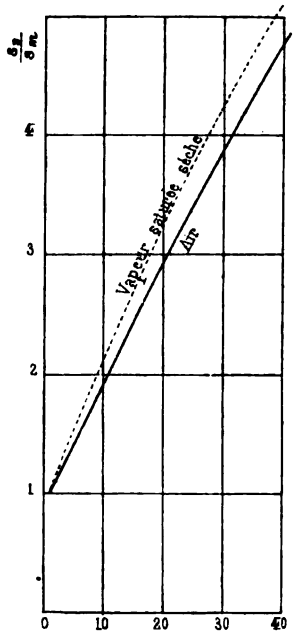
On a donc : $$V = \sqrt{\gamma p v}.$$

était plus ouvert. La section finale s_2 et, par suite, la longueur de l'ajutage sont alors déterminées par :

$$\Pi = \frac{s_2 w_2}{v_2} = \frac{s_m w_m}{v_m} \qquad [10]$$

$$\frac{s_2}{s_m} = \frac{v_2}{v_m}\frac{w_m}{w_2} = \left(\frac{\varpi_m}{\varpi_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{1-\left(\frac{\varpi_m}{\varpi_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1-\left(\frac{\varpi_2}{\varpi_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}} \qquad [11]$$

Fig. 36



Donc, comme pour l'air $\varpi_m = 0{,}529\varpi_1$, on a :

$$\frac{s_2}{s_m} = \left(0{,}529\,\frac{\varpi_1}{\varpi_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{1-(0{,}529)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1-\left(\frac{\varpi_2}{\varpi_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}} \qquad [12]$$

Par suite on a, par exemple, pour :

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 5, \qquad 20;$$

$$\frac{s_2}{s_m} = 1{,}35, \qquad 2{,}91.$$

Le graphique *(fig. 36)* résume ces résultats. On constate que le rapport des sections pour une détente donnée est moindre dans le cas de l'air que dans celui de la vapeur. La tuyère est donc plus courte.

Ce rapport ne dépend que de $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ et non de la température.

Vitesse dans le col de la tuyère.

La vitesse w_m dans le col de la tuyère dépend de la température absolue θ_1 avant la détente et non du rapport des pressions, comme le montre la relation [8] dans laquelle on peut remplacer $\omega_1 v_1$ par $R\theta_1$,

$$w_m = \sqrt{2g\frac{\varkappa}{\varkappa+1}R\theta_1}. \qquad [13]$$

Ainsi pour :	T_1 =	1 000	1 500	2 000	2 500
on a :	w_m =	484	593	685	765 m/s

Vitesse de sortie.

La relation [5] donne, si l'on tient compte de ce que

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}.$$

$$w_2 = \sqrt{2g\frac{\varkappa R}{\varkappa-1}\theta_2\left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}-1\right]} = \sqrt{2gCE(\theta_1-\theta_2)}, \qquad [14]$$

ce qui vérifie l'exactitude de ce que nous avons avancé au début en faisant simplement appel au principe de la conservation de l'énergie (1).

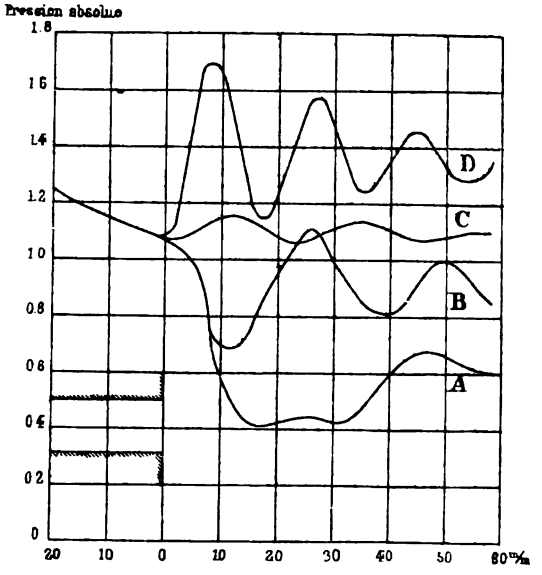
(1) Les relations [3] à [14] que l'on vient d'utiliser sont tirées de l'ouvrage de M. Stodola, sur les turbines à vapeur, de même que les figures 37 et 38.

Influence de la pression d'aval.

On a vu plus haut que la vitesse dans le col de la tuyère est complètement indépendante du rapport de détente et ne dépend que de la température absolue du gaz avant détente. D'autre part, dans le cas de l'air, la pression dans le col est égale à $0{,}529\ \varpi_1$.

En aval du col, la détente continue et la vitesse augmente régulièrement en même temps que la pression baisse. Si la section augmente comme le carré de la distance au col (tuyère conique),

Fig. 37



la pression varie suivant une loi que l'on peut déterminer en partant de la valeur de la vitesse en chaque point (qui résulte de la section), calculant la variation d'énergie cinétique qui en résulte (du col au point considéré) et par suite la température et la pression en ce point d'après la loi de détente adiabatique.

Si donc l'angle d'ouverture est donné on devra aboutir dans la section terminale à une pression bien définie en fonction de la longueur de la tuyère.

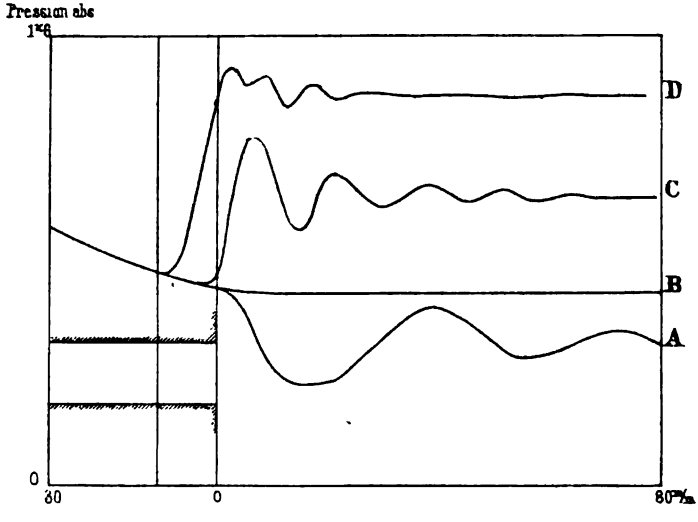
Qu'arrivera-t-il si le milieu dans lequel la tuyère déverse son gaz présente une pression différente ?

a) Les expériences du professeur Stodola exécutées avec de la vapeur ont montré que *si la pression du milieu est plus basse*, il se produit des ondes sonores, la pression varie suivant une sinusoïde dans l'enceinte d'aval. Emden a calculé, dans le cas de l'air, et Prandtl, dans le cas de la vapeur d'eau, la longueur d'onde correspondante. La formule, de la forme $\lambda = \alpha \left(\frac{w_m^2}{c^2} - 1\right)^{\frac{1}{2}}$, où c est la vitesse du son dans le milieu d'aval et w_m celle du fluide à sa sortie, montre que les ondes ne se produisent que si la vitesse d'écoulement à la sortie est plus grande que celle du son *(fig. 37)*.

M. Stodola admet que le fluide sortant de l'ajutage se détend d'abord à la pression du milieu d'aval ce qui transforme en force vive une proportion trop élevée de l'énergie potentielle dudit fluide. C'est cet excès seul qui donne lieu aux vibrations sonores et se trouve transformé en chaleur par le frottement et les remous.

b) *Si la pression du milieu est plus forte que celle correspondant à la section terminale de la tuyère*, il se produit un choc brusque, un ressaut de la courbe de pression suivi de fortes ondes *(fig. 38)*.

Fig. 38



Ce ressaut peut même rentrer à l'intérieur de la tuyère (courbe D).

Mais si la contre-pression est accrue jusqu'à devenir du même

ordre de grandeur que la pression, le ressaut rentre de plus en plus profondément à l'intérieur de la tuyère et peut aller jusqu'au col. Ce phénomène est accompagné d'une grande perte d'énergie.

La théorie du choc a été étudiée par lord Rayleigh, Weber, Grashof, Lorenz, Prandtl et Proell, Stodola, etc.

Ces recherches, d'un grand intérêt théorique, conduisent aux conclusions pratiques suivantes :

Pour réaliser la détente adiabatique de p_1T_1 à p_3T_3 il faut employer une tuyère de longueur bien définie. Si elle est trop courte, la détente sera incomplète et la force vive produite n'utilisera pas toute l'énergie disponible. Si elle est trop longue, il y aura un choc et des vibrations accompagnées d'une perte de force vive.

L'expérience seule indiquera la meilleure longueur. (En pratique, on fera varier la pression et on cherchera quelle est sa valeur la plus favorable.)

On voit aussi combien il serait difficile d'obtenir un bon rendement avec une turbine à explosion dans laquelle p_1 et T_1 varieraient incessamment et dont la tuyère se trouverait tantôt trop courte et tantôt trop longue.

D'autre part le réglage d'une turbine par variation de la pression maxima sera accompagné d'une perte d'énergie cinétique.

On pourrait étudier s'il ne serait pas possible de réaliser une certaine compensation en faisant varier à la fois la température et la pression maxima.

Quoi qu'il en soit, le meilleur réglage d'une turbine s'obtiendra au moyen de l'admission partielle réglée.

Influence du frottement.

Désignons avec M. Stodola par les indices 1 et 2 les états successifs du gaz dans deux sections distinctes de la veine fluide, par Q_s la quantité de chaleur abandonnée par rayonnement et conductibilité pendant que le gaz passe de l'une à l'autre de ces sections on aura :

$$(u_1 + Ap_1v_1) - (u_2 + Ap_2v_2) = AE + Q_s + A\left(\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g}\right)$$

qui donne la formule de Zeuner :

$$\lambda_1 - \lambda_2 = AE + Q_s + A\left(\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g}\right).$$

Donc ici, et en supposant le cas particulier de l'écoulement adiabatique,

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = \frac{1}{A}(\lambda_1 - \lambda_2)$$

et λ = constante = CT, donc $\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = \frac{C}{A}(T_1 - T_2)$.

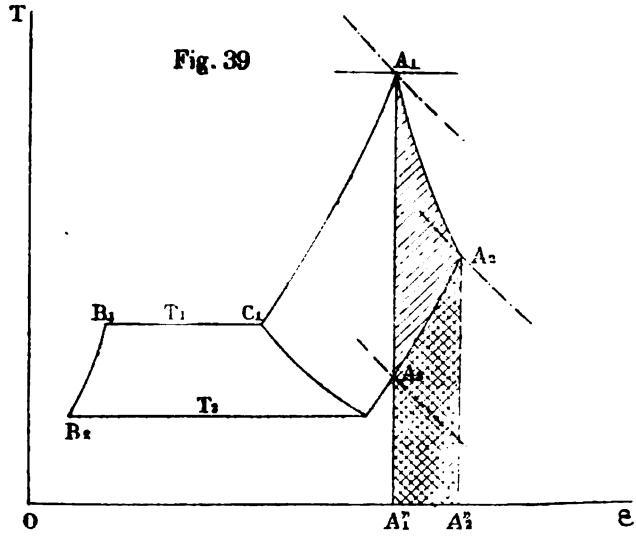
Si, sur un élément infiniment petit de la masse gazeuse, on laisse agir l'influence des parois de manière qu'il y ait apport ou enlèvement d'une quantité de chaleur dQ et que, d'autre part, le frottement dégage une quantité de chaleur dR on aura :

$$dQ + dR = du + Apdv.$$

Si l'on introduit ainsi la notion de la résistance due au frottement, on trouve que la formule de Saint-Venant ainsi généralisée, devient, dans le cas de l'écoulement adiabatique, ($E = 0$ $Q_2 = 0$).

$$\lambda_1 - \lambda_2 = A\left(\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g}\right) = -A\int_1^2 vdp - R.$$

Comme le fait remarquer le professeur Stodola, un écoulement



adiabatique avec frottement n'est pas adiabatique au même sens qu'un écoulement sans frottement.

D'ailleurs le travail du frottement n'est pas totalement perdu.

car une partie se trouve transformée en chaleur et réchauffe le fluide, augmentant ainsi la quantité de chaleur transformée en travail dans la suite de la détente.

Dans le diagramme entropique, les états successifs du fluide pendant l'écoulement étant représentés par la courbe A_1A_2, l'aire $A_1A_2A_2''A_1''$ représente la totalité du travail de frottement (R), tandis que la perte effective d'énergie cinétique [3] est seulement $A_2'A_2A_2''A_1''$.

MM. Delaporte, Lewicki et Stodola ont, chacun de leur côté, donné, dans le cas de la vapeur, des chiffres résultant de leurs essais et permettant d'évaluer la perte réelle d'énergie cinétique dans une tuyère divergente (1) de 5 à 15 0/0.

La perte Z d'énergie cinétique réelle peut s'exprimer par $Z = A\lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g}$ dans un canal cylindrique. Pour une tuyère conique on procédera par intégration.

Classification des turbines à gaz. — Rendement des disques mobiles. — Pertes dans les aubages.

Les turbines peuvent être axiales ou radiales, à un seul disque ou à disques multiples.

Mais ce qui les caractérise surtout, c'est la différence de pression entre l'amont et l'aval dans les aubages mobiles. Si cette différence est nulle, c'est-à-dire, si la pression dans l'espace compris entre l'aubage distributeur et la roue mobile est le même qu'à la sortie de l'aubage mobile, on a affaire à une *turbine d'action*. Dans ces turbines, toute l'énergie est transformée en force vive dans les tuyères distributrices, et la roue mobile utilise cette force vive.

Si, au contraire, la différence de pression existe, on a affaire à une *turbine à réaction*.

La turbine à réaction ayant comme degré de réaction 1/2, travaille avec une vitesse supérieure de 40 0/0 à celle nécessaire pour la turbine d'action. A vitesse tangentielle égale, elle exige deux fois plus de roues mobiles.

Pour ces motifs, et surtout parce que la turbine d'action se

(1) Delaporte : Tuyère de 6 à 9 mm sur 50 mm, échappement dans l'atmosphère. Perte 5 0/0.
Lewicki : Tuyère de 6 à 7 mm sur 30 mm, rapport des pressions 6,86. Perte 8 0/0.
Stodola : Tuyère de 12 mm sur 150 mm. Perte 10 à 20 0/0.

prête à l'emploi d'une seule détente et permet de n'envoyer les gaz, sur la roue mobile, qu'après leur refroidissement par cette détente, il n'y a pas lieu d'adopter les turbines à réaction pour l'établissement des turbines à gaz.

La turbine d'action à plusieurs disques se construit soit à vitesses étagées, soit à pressions étagées.

L'avantage de l'emploi des disques multiples est de donner le même rendement hydraulique avec une vitesse tangentielle trois fois moindre si l'on emploie deux disques mobiles au lieu d'un, et ainsi de suite.

Il n'est malheureusement pas possible de prédéterminer le rendement des disques mobiles des futures turbines à gaz. On sait bien ce que peut être le rendement hydraulique, abstraction faite du frottement, mais il est impossible de savoir à priori, sans expériences, ce que sera le frottement des gaz chauds, plus ou moins détendus, sur les aubages fixes et mobiles.

Il semble que ce frottement sera moindre que dans les turbines à vapeur. Dès lors, on pourrait augmenter le nombre des disques mobiles et améliorer ainsi le rendement total, en même temps que le rendement hydraulique proprement dit.

Dans les turbines d'action à vapeur, la tendance actuelle est de multiplier les étages de pression et de réduire, dans chaque étage, le nombre des roues mobiles. Il ne sera pas facile d'aller loin dans cette voie avec les turbines à gaz, car il faudrait pour cela adopter une température finale d'échappement inférieure à 700 degrés, afin de n'avoir pas une température plus élevée que cette limite, dans l'étage supérieur de pression. Or, on a vu que cela ne s'obtient qu'aux dépens d'une certaine réduction du rendement thermique.

Il y a donc, dans le cas des turbines à gaz, des influences contradictoires dont l'effet final, sur le rendement mécanique, ne pourra être fixé que par l'expérience.

Néanmoins, tout porte à croire que le rendement mécanique sera au moins égal à celui des turbines à vapeur.

Frottement des disques tournant dans l'air.

Dans les turbines à vapeur actuelles, le frottement des disques occasionne, pendant la marche à vide, une consommation d'énergie moins grande qu'on ne le croyait autrefois, mais encore assez importante.

On verra plus loin que cette perte de travail sera relativement moindre dans les turbines à gaz, même dans le cas où la pression du fluide y serait égale à celle de l'atmosphère.

On ne sait pas quelle est l'importance de cette résistance passive dans la marche en charge.

Les essais de Odell, de Lewicki, de Stodola, etc., ont permis de déterminer la puissance absorbée par le frottement dans la marche à vide.

Il y a lieu de noter d'abord que cette puissance est beaucoup plus considérable (1), quand on fait tourner le disque à aubes dans l'atmosphère, que lorsqu'on a soin de l'enfermer dans une capacité close supprimant toute ventilation.

Cela étant, le disque à aubes n'en absorbe pas moins beaucoup plus de travail qu'un disque plat. Le travail de frottement est proportionnel au cube du nombre de tours, et peut être représenté par

$$No = \alpha D^2 \left(\frac{u}{100}\right)^3 \delta$$

où α est un coefficient, D le diamètre du disque, u la vitesse tangentielle, δ le poids spécifique du gaz.

Toutes conditions égales, le frottement absorbe un travail 1,3 plus grand dans la vapeur saturée que dans l'air, ce qui est tout à l'avantage des turbines à gaz.

Sous la pression atmosphérique, la vapeur surchauffée à 300 degrés donne le même travail de frottement que l'air à la température ordinaire.

Lewicki a trouvé qu'à 300 degrés et sous une pression *très faible* le travail absorbé est un peu moindre que dans l'air *à la pression atmosphérique.*

Mais comme dans une turbine à gaz échappant à 600 degrés absolus, la densité de l'air n'est que de $1 \times \frac{273}{600} = 0.46$, on doit conclure de ces résultats que la perte de travail est, très probablement, inférieure à celle observée dans les turbines à vapeur.

Un autre facteur intervient pour réduire encore l'importance relative de cette perte. C'est la petitesse relative du disque d'une turbine à gaz. On a vu, en effet, que la section totale nécessitée par le passage du gaz est moindre, à travail égal, que dans le cas d'une turbine à vapeur à condensation. Par suite il sera possible,

(1) Par exemple 2 à 4 fois plus.

du moins dans le cas des très grandes turbines, de réduire le diamètre des roues mobiles. Toutefois dans les petites unités le diamètre est surtout défini par la vitesse tangentielle et le nombre de tours nécessaires, et ne peut être réduit. Au contraire, la vitesse d'écoulement plus forte de l'air peut conduire à donner un plus grand diamètre à la roue mobile.

Régulation des turbines à gaz.

Cette question, d'une très grande importance au point de vue du rendement industriel ne paraît pas avoir encore fait l'objet de travaux importants.

Examinons d'abord comment on pourrait régler une turbine alimentée par un seul ajutage. Il y a deux cas à considérer. Celui où le compresseur n'est pas lié mécaniquement à la turbine motrice et celui où une liaison directe (mécanique ou électrique) existe entre ces deux organes.

Considérons d'abord le premier cas.

La relation

$$\frac{w_2^2}{2g} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R\theta_1 \left[1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R\theta_2 \left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

montre que la puissance débitée par la tuyère n'est pas influencée très fortement par une variation de la température avant détente θ_1 (qui est ici la température de combustion) si l'on ne fait pas varier le rapport des pressions.

En effet, la force vive de l'unité de masse est proportionnelle à θ_1, mais la densité du gaz à sa sortie est proportionnelle à $\frac{1}{\theta_1}$ la pression ω_2 ne variant pas. La vitesse w_2 étant proportionnelle à $\sqrt{\theta_1}$ la puissance débitée, proportionnelle à $\frac{m w_2^2}{2}$ est proportionnelle à $\sqrt{\frac{\theta_1}{\theta_1}} \times \theta_1$ ou à $\sqrt{\theta_1}$.

Si nous faisons varier le rapport des pressions $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ sans modifier θ_1 nous obtiendrons une variation de θ_2 proportionnelle à $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$.

Donc la densité varie comme $\frac{1}{\theta_2}$ en supposant ω_2 fixe et ω_1 seul

variant. Le débit en poids est donc proportionnel à $\frac{1}{\theta_2}\sqrt{1-\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$ et le produit $\frac{mw_2^2}{2}$ est proportionnel à :

$$\frac{\sqrt{1-\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}}{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}\left[1-\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]$$

Si donc on agit seulement sur la *température de combustion*, on pourra réduire la puissance dans le rapport de $\sqrt{\theta_1}$ et la température d'échappement diminuera dans la marche à faible charge. Le rendement ne sera pas très influencé (il ne le serait rigoureusement pas si la compression était réalisée suivant le mode adiabatique).

Si l'on agit seulement sur la *pression de combustion*, on échappera à une température d'autant plus élevée que l'on voudra réduire davantage la puissance, ce qui est absolument inadmissible, car cela conduira à une température d'échappement supérieure à 700 degrés aux faibles charges. Si, au contraire, on s'arrange pour ne pas dépasser 700 degrés aux faibles charges on échappera à pleine charge à une température moindre et le rendement ne sera pas maximum.

On peut obtenir un réglage plus énergique de la puissance tout en évitant ce dernier inconvénient en *faisant varier à la fois la température et la pression* de manière à laisser constante la température finale θ_2 (1). Dans ces conditions la densité ne varie pas, la vitesse varie comme $\sqrt{\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}-1}$, et l'énergie débitée comme :

$$\sqrt{\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}-1}\times\left[\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}-1\right].$$

Si la diminution de pression est obtenue par un détendeur inséré entre le compresseur et la chambre de combustion, le rendement est diminué d'une façon inadmissible. Il faudrait, dans ce cas, se servir d'un compresseur indépendant à rapport de compression variable.

Les variations du régime de l'écoulement résultant des varia-

(1) Par contre, on diminue davantage, par ce procédé, le rendement thermique aux faibles charges.

tions de θ_1 ou de $\frac{\varpi_1}{\varpi^2}$ ou de ces deux éléments à la fois ont pour effet de placer l'ajutage aux faibles charges dans des conditions différentes de celles en vue desquelles il a été calculé et par suite de diminuer son rendement hydraulique aux faibles charges. Par contre le rendement des disques mobiles augmente.

On peut encore imaginer dans le cas de l'ajutage unique un réglage simple basé sur la méthode du tout ou rien. Au point de vue du rendement ce procédé serait probablement le meilleur car le volume de la chambre de combustion est si faible par rapport au débit du gaz que les périodes de transition à faible rendement hydraulique sont d'une durée négligeable. Par contre il faudra un dispositif d'allumage, à moins que la compression et la température n'assurent l'auto-inflammation du mélange.

Si le compresseur est lié à la turbine mécaniquement ou électriquement, on peut le faire participer au réglage en l'obligeant à débiter davantage, et à accumuler son excédent de production dans un réservoir pendant les moments où l'énergie demandée à la turbine est inférieure à la normale (application à la traction, etc.).

Passons maintenant au cas des turbines à ajutages multiples. Il y aura lieu de déterminer d'abord, ce qui ne peut se faire que dans chaque cas particulier, s'il est plus avantageux de ne modifier que le régime d'un seul ajutage mais dans des limites très étendues ou au contraire d'agir à la fois sur tous les ajutages dans une proportion restreinte.

Mais la vraie solution paraît devoir être celle adoptée par exemple dans les turbines Curtis, et consistant à alimenter un certain nombre d'ajutages par la méthode du tout ou rien sans modifier les conditions de marche des autres. Il faut d'ailleurs disposer dans ce cas d'un volant (ou d'un accumulateur d'énergie) si l'on a besoin d'un coefficient de régularité élevé et si les ajutages ne sont pas très nombreux.

Il faut évidemment refouler le gaz et le combustible dans tous les ajutages au moyen de deux pompes seulement. Il faut donc une valve à gaz et un pointeau (ou deux valves à gaz) par ajutage.

On peut ne faire agir le régulateur (par son servo-moteur) que sur les valves à air et commander les soupapes amenant le combustible par un petit piston ne s'ouvrant que quand la pression dans la chambre de combustion a atteint une valeur suffisante et, dans une certaine mesure, proportionnellement à cette pression.

Quoi qu'il en soit, le réglage de la vitesse des turbines à gaz à combustion ne paraît pas devoir présenter de difficultés sérieuses.

QUATRIÈME PARTIE

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES TURBINES A GAZ

Chapitre I.

Compresseurs d'air.

On a vu qu'il est nécessaire pour réaliser un bon rendement, aussi bien thermique que mécanique, de choisir un rapport de pressions aussi élevé que possible. En pratique 40 serait une bonne valeur.

Il faut donc ou bien comprimer à 40 atm les gaz que l'on refoule dans la chambre de combustion ou bien se contenter d'une pression moindre, soit 10 kg par exemple, mais faire échapper les gaz dans une enceinte dont la pression soit maintenue à 1/4 atm. Dans ce dernier cas un deuxième compresseur qui jouera le rôle d'une pompe à air de condenseur aura à comprimer les gaz de 1/4 atm à la pression atmosphérique. Pour que le travail ne soit pas plus considérable que dans le cas du compresseur unique à 40 kg, il faudra que la température absolue des gaz de l'échappement soit ramenée à la valeur minima T_0 qui correspond à la température de l'atmosphère. Ceci est déjà une difficulté et pour y arriver on serait conduit à employer des récupérateurs ou des réfrigérants tubulaires très volumineux ou des injections d'eau obligeant à avoir une pompe à air humide ou plutôt un condenseur barométrique avec pompe à air sec.

Sous ces réserves, les deux solutions s'équivalent, mais celle qui est basée sur l'emploi d'une pompe à air n'offre d'intérêt que dans le but de remplacer les compresseurs à mouvement alternatif par des turbines-compresseurs. En effet, il sera certainement très difficile de réaliser avec ces dernières des compressions élevées de l'ordre de grandeur de 20 à 25 atm. Il faudrait pour cela un très grand nombre de roues mobiles tournant à des vitesses très considérables et, dans un milieu aussi dense, les pertes mécaniques résultant du frottement des roues dans l'air comprimé auraient une influence néfaste sur le rendement.

Si donc on veut éviter l'emploi de compresseurs à piston on sera sûrement conduit à fractionner l'opération comme on vient de l'indiquer.

Au contraire, si l'on emploie des compresseurs à mouvement alternatif, il n'y a aucune difficulté à comprimer à 50 kg. Ces machines ont, comme on va le voir, un excellent rendement, ce qui est capital dans notre cas. Mais elles présentent un grand encombrement et retirent à la turbine à gaz une partie des avantages caractéristiques qui ont fait le succès de la turbine à vapeur.

Aussi, dans les cas où l'encombrement jouera un rôle important, pourra-t-on avoir intérêt à faire précéder le compresseur à piston d'une turbine-compresseur ou d'un compresseur rotatif ordinaire.

Par exemple on pourra se borner à comprimer l'air à 4 kg dans une turbine-compresseur ce qui exige en travail l'équivalent de 30 calories seulement par kg et l'on achèvera la compression dans une machine à pistons qui portera la pression de 4 à 40 kg en dépensant l'équivalent de 46 calories.

Le rendement mécanique de la turbine compresseur étant supposé égal à 0,70 et celui du compresseur à pistons égal à 0,85, l'ensemble aura un rendement de 0,79 mais le compresseur à pistons sera quatre fois moins encombrant, le volume d'air qu'il sera chargé d'aspirer devenant quatre fois moindre.

En résumé on emploiera l'un des dispositifs suivants :

Un compresseur à piston comprimant directement à 40 atm.

Une turbine-compresseur comprimant à 4 kg suivie d'un compresseur à piston comprimant de 4 à 40 atm.

Une turbine-compresseur comprimant à 10 kg et en aval de la turbine un réfrigérant suivi d'une turbine-pompe à air prenant les gaz brûlés à 1/4 atm pour les rejeter dans l'atmosphère.

Compresseurs a piston ordinaires.

Nous renverrons pour l'étude de ces machines au travail de M. Barbet publié dans le *Génie Civil* en mai-août 1895. Rappelons seulement que les compresseurs à piston liquide Sommellier, Dubois et François, etc., sont trop volumineux pour les besoins des turbines à gaz et que par conséquent on est obligé de recourir aux compresseurs à simple injection d'eau, genre Colladon ou à refroidissement dans des réservoirs intermédiaires, genre Mé-

karski, l'emploi de plusieurs étages de compression étant en tout cas indispensable.

M. Mékarski a exécuté un certain nombre d'exemplaires d'un type vertical faisant 100 à 150 tours et comprimant à 60 atm environ 0,065 kg d'air par tour. La machine, comprenant quatre cylindres à simple effet groupés par deux en tandem, est à soupapes automatiques et à injection d'eau dans les cylindres à basse pression, les cylindres à haute pression étant munis d'une double enveloppe.

Le rendement en volume paraît voisin de 67 0/0. Quant au rendement en travail on a obtenu les résultats suivants.

Le travail indiqué sur le piston de la machine à vapeur couplée au compresseur étant de 97 ch, on a comprimé 390 kg d'air à l'heure. Or la compression isothermique à 60 atm exigerait théoriquement :

$$\frac{42.308 \times 390}{270.000} = 61{,}1 \text{ ch.}$$

Le rendement mécanique total du groupe machine à vapeur-compresseur est donc $\frac{61{,}1}{97} = 0{,}63$.

Le rendement du compresseur et celui de la machine pouvant être supposés égaux, leur valeur sera $\sqrt{0{,}63}$ ou 0,79.

On voit donc qu'un compresseur à pistons de faible puissance (100 ch) fournit aisément un rendement mécanique $\eta_c = 0{,}8$ environ.

Dans ces conditions on comprime à 60 atm 5 kg d'air par cheval-heure effectif fourni sur l'arbre du compresseur.

Comme exemple de compresseurs de grande puissance nous pouvons citer les machines verticales de 2 000 ch à triple expansion construites par le Creusot pour l'usine du quai de la Gare de la Compagnie parisienne de l'Air comprimé. L'air est amené à 7 atm absolues, le rapport de compression étant de 1 à 7. Les cylindres à air sont à double effet et montés en tandem avec chacun des cylindres à vapeur. La compression est à deux étages avec un réservoir intermédiaire à 2,7 kg. Les cylindres à air n'ont pas d'enveloppe d'eau, mais il y a des injections d'eau dans les cylindres, dans les chapelles et dans le réservoir intermédiaire.

Ces machines aspirent pratiquement à la vitesse de 50 tours 20 720 m³ à l'heure ou 25 400 kg avec un rendement volumétrique d'environ 0,80.

Des essais éxécutés sur ces machines par M. Bourdon et par le professeur Gutermuth, il résulterait que l'on dépense 1 ch indiqué sur les pistons vapeur pour comprimer 12,7 kg d'air dans le rapport de 1 à 7. D'autres essais auraient donné un rendement mécanique total pour l'ensemble machine à vapeur-compresseur de 0,90 environ (1).

Dans les machines de la Compagnie parisienne de l'Air comprimé la courbe de compression répond bien à l'équation $pv^{1,3} =$ constante et l'air entrant à + 5° sort à + 25° tandis qu'une compression adiabatique donnerait + 200°. L'injection d'eau est donc très efficace.

Comme dernier exemple de compresseur à marche lente, nous citerons la machine Strnad, dont un exemplaire de 300 ch a donné au professeur Gutermuth les résultats suivants :

Rapport de compression.	1 à 7,1
Nombre de tours	50 à 70
Rapport : $\frac{\text{Travail théorique de compression}}{\text{Travail indiqué du piston vapeur}}$	0,73
Rapport : $\frac{\text{Travail indiqué du compresseur}}{\text{Travail indiqué de la vapeur}}$	0,84

Par suite, le rendement mécanique proprement dit du compresseur supposé égal à celui de la machine à vapeur serait $\sqrt{0,84} = 0,92$, mais comme l'élévation de température a pour effet de porter le rapport $\frac{\text{travail théorique de compression}}{\text{travail indiqué de compresseur}}$ à la valeur 0,87, on aurait en réalité.

$$\eta_c = 0,87 \times 0,92 = 0,80.$$

Le compresseur Strnad est à deux étages et deux cylindres en tandem avec les cylindres vapeur d'une machine compound. Il est caractérisé par une injection d'eau sous pression dans les cylindres, et par l'emploi de distributeurs genre Corliss. La consommation d'eau est de 2,55 l par mètre cube d'air. Avec cette machine, on comprime 12 kg d'air dans le rapport de 1 à 7

(1) Il ne serait pas exact ici de dire comme nous l'avons fait plus haut pour le groupe Mékarski que le rendement η_c du compresseur doit être égal à celui de la machine à vapeur, soit égal à $\sqrt{0.9} = 0.95$. En effet si le compresseur devait être actionné par une machine extérieure (moteur électrique, etc.) les cylindres vapeur étant seuls supprimés, les pertes mécaniques restantes seraient supérieures à la moitié des pertes totales.

Quoi qu'il en soit le rendement serait supérieur à 0,9 si le chiffre indiqué est bien exact.

par cheval indiqué (ce qui équivaut à comprimer 6 kg d'air de 1 à 49).

Les compresseurs de l'usine de Billancourt (Compagnie Générale des Omnibus) sont d'une puissance *indiquée* de 875 ch et compriment 3420 kg d'air par minute à 80 kg, en faisant 52 tours par minute. Il y a trois étages de compression : 4 kg, 24,5 kg, 80 kg. On injecte 2 kg d'eau par kilogramme d'air dans les cylindres B P. Pour une température ambiante de 18°, l'air comprimé est à 60°.

On a $$\frac{\mathfrak{C}c}{\mathfrak{C}i \text{ des machines à vapeur}} = 0{,}53 \text{ à } 0{,}55.$$

D'où $\eta_c = 0{,}73$ à $0{,}74$.

En résumé, les anciens compresseurs à marche lente examinés jusqu'ici conduisent à une valeur qu'on peut estimer d'environ :

0,70 à 0,80 pour les machines de 100 à 1 000 ch ;

0,80 à 0,90 pour les unités de 2 000 ch.

Nouveaux compresseurs rapides.

Depuis quatre ou cinq ans, les nécessités de l'accouplement direct aux moteurs électriques ont conduit les constructeurs à étudier des compresseurs à marche rapide, faisant, par exemple, 500 à 600 tours pour les types de 100 ch.

La maison Pokorny et Wittekind, de Francfort, exposait à Dusseldorf un compresseur compound tandem à distribution Koster, mû par un moteur de 70 ch à 550 tours. La course commune était de 150 mm et les diamètres respectifs des cylindres 300 et 190 mm. Cette machine comprime à 7 atm environ 750 kg d'air à l'heure. On trouvera des résultats d'essais sur les compresseurs modernes dans les travaux de Richter, Lebrecht, Biel, etc. (1).

Ces sortes de machines conduisent à une solution acceptable au point de vue de l'encombrement, surtout si on les fait précéder d'un compresseur turbine. Si ce dernier comprime à 4 kg absolus, la petite machine dont on vient de donner les dimensions pourra comprimer, de 4 à 28 atm, 3000 kg d'air. Elle actionnera donc une turbine à gaz de 600 ch disponibles.

(1) Richter : *Thermische Untersuchung an Kompressoren, Zeitschrift des Vereines*, juillet 1905. — Lebrecht : *Versuche mit raschlaufendegas-compressoren, Zeits. des Ver.*, 1905. — Biel : *Zeits. des Ver.*, 1905, page 540.

Compresseurs rotatifs.

Les machines rotatives n'ont pas eu, jusqu'ici, beaucoup de succès. Cependant, on recommence à les employer pour les moyennes et les petites forces.

La *Compagnie Générale Électrique* de Nancy réalise des applications du moteur *Hult* qui est une machine rotative à vapeur. mais dont le principe serait applicable aux compresseurs.

La *Compagnie Siemens et Halske* a lancé dernièrement un type de compresseurs rotatifs, qu'elle ne parait appliquer, jusqu'ici. qu'aux faibles puissances (quelques chevaux seulement). Ces machines, qui n'ont, pour ainsi dire, pas d'espace nuisible et s'accouplent directement aux moteurs électriques, donnent aisément une compression dans le rapport de 1 à 3 ou, employées pour faire le vide, des pressions de 1,5 mm de mercure. Il serait intéressant de connaître leur rendement, car ces sortes de machines s'appliqueraient particulièrement bien au dispositif consistant à réaliser la combustion sous 4 kg, par exemple. avec pression de 1/10 d'atm à l'échappement pour donner une détente de 40.

Leur emploi serait tout indiqué dans les turbines à gaz de faible puissance.

Turbines-compresseurs.

M. Rateau a attiré l'attention, en 1902, sur les propriétés des ventilateurs à très grande vitesse, et montré qu'en accouplant directement un ventilateur à une turbine à 10 à 20 000 tours par minute, on obtient, avec un rendement voisin de 0,60, une compression dans le rapport de 1 à 1,5. En accouplant en série plusieurs roues mobiles, la pression absolue croît en progression géométrique, de sorte qu'avec quatre ventilateurs en tension on obtient une pression finale de $(1,5)^4$, soit environ 5 kg de pression absolue.

Le rendement de l'ensemble est égal, en théorie, au rendement d'une roue mobile isolée. Néanmoins, il ne serait probablement pas facile de dépasser une pression finale de 5 atm absolues, parce que la résistance au frottement deviendrait considérable dans une atmosphère plus dense, de sorte que le rendement mécanique η_c décroitrait rapidement.

Si l'on emploie une série de ventilateurs conjugués pour produire une dépression en aval de la turbine, l'inconvénient en question ne se présentera pas, et il ne faudra pas plus de roues mobiles pour réaliser un même rapport de pression, mais, d'autre part, l'appareil sera plus volumineux pour un même débit en poids.

Par exemple, si l'on veut réaliser une pression de 1/5 d'atm, la première roue mobile ne donnera qu'une surpression de $\frac{0,5}{5}$ soit 0,1 d'atm.

Par suite n roues donneront une pression finale égale à $0,2 \times (1,5)^n$ et l'on devra avoir $0,2 \times (1,5)^n = 1$, d'où $(1,5)^n = 5$, d'où $n = 4$. Ceci exige, bien entendu, que les gaz aient été refroidis à la température ordinaire avant d'entrer dans le ventilateur.

Avec un dispositif de ce genre, l'accouplement direct du ventilateur multicellulaire avec la turbine à gaz est très désirable, mais comme la vitesse tangentielle du ventilateur doit atteindre 260 m par seconde pour obtenir le rapport de pression admis ci-dessus, on est obligé de recourir à une vitesse de rotation considérable (20 000 tours dans le modèle de 200 ch, comprimant de 1 à 5 kg absolus).

Si la turbine à gaz est destinée à la commande de dynamos, etc., on ne pourra pas lui faire faire plus de 1 à 2 000 tours. Dans ce cas, il convient donc d'affecter une turbine séparée à la commande des ventilateurs.

Depuis les recherches de M. Rateau, on s'est occupé de divers côtés d'utiliser des turbines comme compresseurs. Des recherches ont été faites en Angleterre au moyen de turbines Parsons. D'autre part, la G. E. C° a fait breveter l'adaptation de turbines genre Curtis à cet usage. Mais aucun résultat d'essais n'a encore été publié.

L'idée de Burdin et Tournaire n'est donc pas encore entrée dans la pratique, mais elle paraît être à la veille de l'être.

Chapitre II.

Récupérateurs de chaleur.

Les récupérateurs de chaleur à action alternative, nécessaires aux moteurs à pistons, n'ont pas donné de résultats en pratique, mais la question se présente sous un jour différent dans le cas des turbines à gaz.

Ici, les gaz de l'échappement sortent de la turbine d'une façon continue, avec une vitesse absolue encore élevée, ce qui est un grand avantage au point de vue de la facilité de transmission de la chaleur. Les gaz à réchauffer sont eux-mêmes refoulés d'une façon continue par le compresseur, et, vu l'importance des compressions mises en jeu, une perte de charge d'une certaine importance nécessaire pour réaliser une circulation rapide dans un faisceau tubulaire ne présente pas un grand inconvénient.

Les gaz brûlés sortant d'une turbine à gaz seront beaucoup plus propres que ceux qui chauffent les surchauffeurs des chaudières à vapeur et aussi que les gaz d'échappement des moteurs à explosion, la combustion continue sous pression étant celle qui laisse le moins de résidus. On a vu, d'autre part, que ces gaz sont peu oxydants.

Toutes ces conditions sont éminemment favorables à l'emploi des récupérateurs.

Récupération de gaz a gaz.

Les appareils destinés à réchauffer l'air comprimé, au moyen de la chaleur empruntée aux gaz de l'échappement, seront analogues aux surchauffeurs de vapeur, et travailleront à des températures du même ordre de grandeur. Ils seront moins sujets à l'oxydation, les gaz étant très pauvres en oxygène et la température étant plus régulière.

La nature du métal est tout à fait indifférente au point de vue de la transmission de chaleur de gaz à gaz. On emploiera donc des tubes de fer ou d'acier. Le cuivre ou l'aluminium ne seraient intéressants qu'en vue d'augmenter la durée des tubes.

Il faudra adopter de grandes vitesses de circulation (1) et une circulation méthodique à contre-courant, prendre les précautions de construction nécessaires en vue des dilatations, etc.

Récupération par la vapeur.

Lorsque la récupération des chaleurs perdues s'effectuera en utilisant de la vapeur, on produira cette dernière dans une chaudière à vaporisation instantanée, chauffée par les gaz de l'échappement. Cette chaudière comprendra, en somme, un réchauffeur, suivi de la chaudière proprement dite et d'un surchauffeur, le tout à circulation méthodique. Mais les trois parties ainsi considérées ne seront pas nettement délimitées. On emploiera, en effet, une chaudière Serpollet ou une chaudière du système proposé par le colonel Renard (2). L'eau refoulée à une extrémité sortira d'une façon continue à l'autre extrémité à l'état de vapeur surchauffée.

Ici, encore, les gaz devront circuler très rapidement.

Chapitre III.

Production du mélange combustible.

Le combustible employé peut être solide, liquide ou gazeux, mais il est peu probable qu'on réalise pratiquement, à bref délai, une turbine employant le combustible à l'état solide.

Il serait en effet très difficile d'insuffler le combustible dans une chambre de combustion soumise à une pression de 30 à 40 atm, et les cendres entraînées par les gaz brûlés produiraient une usure désastreuse des aubes mobiles.

La turbine à gaz n'est donc pas appropriée à l'emploi des combustibles solides. On ne pourra pas éviter, au moins avant longtemps, l'emploi d'un gazogène.

Combustible gazeux.

Comme on l'a vu, les gaz pauvres sont presque aussi avantageux que les gaz riches. Avec le gaz Dowson le compresseur d'air devra débiter un volume d'air égal à 1,2 fois celui du gaz.

(1) Voir Les Travaux *de Ser*, de M. Marcel Deprez, etc.
(2) Voir *Génie Civil*, 1905.

On aura donc deux compresseurs de puissance et de dimensions peu différentes.

On pourrait être tenté d'adopter le système Gardie, en vue d'utiliser la chaleur sensible des gaz sortant du gazogène vers 700°, et qui est ordinairement perdue, mais le fonctionnement du gazogène sous une pression supérieure à 10 atm serait vraisemblablement bien difficile. Il faudrait alors se borner à une pression modérée dans le gazogène, ce qui n'est admissible que si la turbine fonctionne avec échappement sous pression réduite. Le principal avantage du système est de supprimer le lavage des gaz.

Si l'on emploie du gaz de haut fourneau, les deux compresseurs d'air et de gaz auront aussi des dimensions peu différentes, les volumes étant dans le rapport de 0,7 à 0,9 d'air pour 1 de gaz.

Il ne sera pas très facile de récupérer la chaleur sensible des gaz, car on sait que la grande quantité de poussières qu'ils renferment rend difficile leur utilisation dans les chaudières. Néanmoins l'impossibilité n'est pas absolue et l'effet de la récupération permettrait d'améliorer les rendements calculés plus haut.

Les *gaz riches* comme le gaz d'éclairage et l'*acétylène* conduisent à l'emploi de très petits compresseurs pour le gaz. Le rapport des volumes à comprimer étant respectivement de 1 à 8 et de 1 à 20. Mais l'importance du travail total de compression n'est pas beaucoup moindre qu'avec les gaz pauvres.

Les combustibles *liquides* n'exigent qu'une pompe de compression très petite et de peu de puissance, mais comme on l'a vu, la pompe à air reste à peu près aussi importante à puissance nette égale, que les deux pompes réunies nécessaires dans le cas des combustibles gazeux.

Les combustibles liquides s'emploieront dans la chambre de combustion, soit après volatilisation dans un carburateur analogue à ceux des moteurs à explosion actuels, soit par simple injection au moyen d'une sorte de pulvérisateur. Il sera souvent intéressant de réchauffer ou de volatiliser le combustible liquide au moyen de chaleur prélevée sur les gaz de l'échappement.

Dans les turbines à injection d'eau ou de vapeur, l'injection se fera soit dans la chambre de combustion, soit en amont. Nous pencherions en faveur de cette solution, surtout dans le cas de l'injection de vapeur.

CHAPITRE IV.

Chambre de combustion.

Les dimensions de chaque chambre de combustion doivent être telles que la réaction puisse être complète, avant que le gaz sortant de la zone de combustion pénètre dans le col de la tuyère.

Suivant que la température maximum T_1 varie de 1 000 à 2500° absolus, la vitesse dans le col de la tuyère varie entre 500 et 800 m par seconde. Admettons 2 000° absolus et 685 m par seconde.

D'autre part dans la section terminale de la tuyère on a, pour un rapport de compression de 25 à 30 et une température en fin de détente de 700° absolus, une vitesse de 1 500 m par seconde.

Quelle section et quelle longueur faudra-t-il donner à la chambre de combustion? Dans celle-ci nous aurons 2 000° absolus et 25 kg de pression, par exemple. La densité sera donc $(25 \text{ à } 30) \times \frac{700}{2\,000} = 8{,}75$ à 10,5 fois celle des gaz de l'échappement, soit 10 fois.

Par suite, si la section de la chambre de combustion est égale à la section terminale de la tuyère en aval, nous aurons une vitesse 10 fois moindre, soit 150 m par seconde.

Or on admet généralement que la vitesse de propagation de la flamme n'est, à la pression atmosphérique, que de 1 à 2 m par seconde. Il faudrait donc donner à la chambre de combustion une section environ 100 fois plus grande que la section terminale de la tuyère de détente, pour être sûr que la combustion soit absolument complète.

L'expérience seule permettra de fixer le rapport à adopter. Mais il est peu probable que l'on soit obligé de lui donner une valeur aussi grande, car à la température et à la pression considérées, le combustible s'enflamme spontanément. Par suite, la vitesse de propagation de la flamme, doit être pratiquement infinie.

Il semble, qu'en pratique, une section de chambre égale à 10 fois la section terminale doive suffire. Cela donnerait une vitesse dans la chambre 40 fois moindre qu'à la sortie, soit environ 38 m par seconde. Or ce chiffre est considéré comme nor-

mal dans les canalisations de gaz (à la pression de l'atmosphère il est vrai).

Il semble qu'une longueur de chambre égale à 5 ou 10 fois le diamètre, soit convenable, bien que rien ne permette de fixer cette donnée à priori.

Une tuyère ayant une section terminale équivalente à celle d'un cercle de 10 mm de diamètre aurait, par exemple, une chambre de 50 mm de diamètre, dans laquelle la vitesse serait $\frac{38 \text{ m par seconde}}{2,5} = 15,2$ m par seconde. En lui donnant une longueur de 300 mm, les gaz y séjourneraient environ $\frac{0,30 \text{ m}}{14 \text{ m par seconde}} = 0''02$. Or c'est le temps que dure la combustion, dans un moteur à pétrole à 1 500 tours.

Chapitre V.

Tuyères d'injection (ou de détente).

Beaucoup de raisons militent en faveur de l'injection partielle dans le cas qui nous intéresse.

Les tuyères d'injection ou les couronnes d'aubages fixes étant soumises à la haute température de la combustion, il y a lieu de recourir, pour leur construction, à une matière jouissant de propriétés spéciales, de résistance à la chaleur, aux réactions chimiques, aux dilatations et contractions répétées, enfin d'une résistance mécanique convenable.

Le carborundum nous paraît remplir au mieux ces conditions, il y a seulement lieu de prendre quelques précautions par suite de sa conductibilité calorifique relativement grande.

La chambre de combustion et les tuyères d'injection forment l'organe caractéristique de la turbine à gaz.

Le dispositif le plus simple, applicable dans les petites turbines, comprendra la réunion d'une chambre de combustion et d'une tuyère divergente, de préférence à section rectangulaire. Le dernier élément de la tuyère pourra sans aucun inconvénient être en métal, les gaz étant suffisamment refroidis en cet endroit (au-dessous de 800° absolus).

Ce dernier élément pourra être divisé par des cloisons minces, de manière à former une portion de couronne distributrice.

CHAPITRE VI.

Construction des aubes mobiles.

La construction des aubes mobiles ne différera pas de celle en usage dans les turbines à vapeur. On pourra adopter soit le dispositif à un disque, soit, mieux, le dispositif à disques multiples, car la vitesse du fluide est au moins aussi grande que dans la turbine à vapeur.

Par suite, les dispositifs pratiques à adopter sont ceux qui conviennent aux vitesses linéaires modérées : 150 à 200 m par seconde au maximum à la périphérie.

Néanmoins on devra tenir compte de ce que, la température de 300 à 400° centigrades étant un peu supérieure à celle adoptée d'ordinaire dans les turbines à vapeur, il y a lieu de choisir un métal dont la résistance ne diminue pas trop à ces températures. Il n'y a pas de difficultés particulières à prévoir de ce fait.

On a déjà soumis des disques de turbine de Laval à l'action de vapeur surchauffée à 600° absolus et à l'action d'air à 700° absolus, sans rencontrer de ce fait aucune difficulté. (Voir LEWICKI, *Zeitschrift des Vereines*, 1905).

D'autre part un acier au nickel a donné les résultats suivants :

Température absolue.	300	500	600	700
Charge de rupture.	81	91	92	73
Limite élastique .	70	60	54	40
Allongement 0/0 .	10,7	8,7	8,3	7,0
Striction 0/0 . .	60,8	60	60,8	74,0

Les aubes mobiles en métal mince soumises à ces températures à l'action oxydante des gaz, pourront, semble-t-il, donner lieu à une usure un peu plus grande que dans le cas de la vapeur.

Mais on sait que dans ce dernier cas l'usure des aubes résulte surtout de l'entraînement de vésicules d'eau. Avec la vapeur surchauffée, et par suite aussi avec les gaz de la combustion dans les turbines à gaz, l'usure est négligeable, — Les gaz brûlés ne renferment d'ailleurs que très peu d'oxygène (5 à 10 0/0), et l'acier au nickel résiste particulièrement bien à l'oxydation.

Chapitre VII.

Avant-projet d'une turbine à gaz.

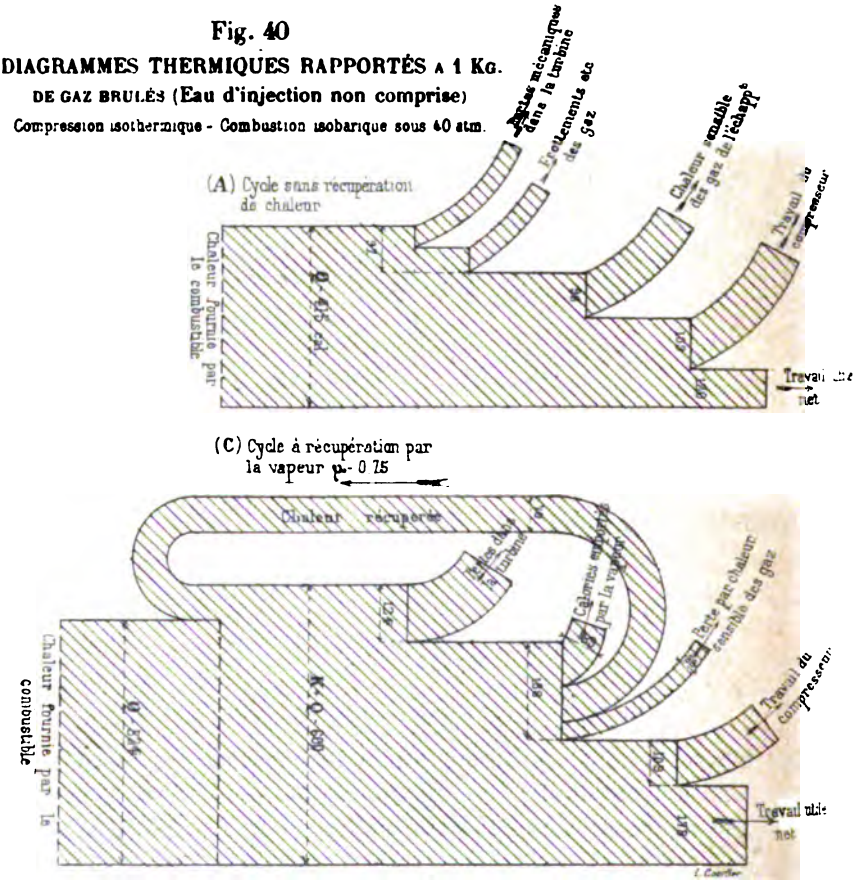
Pour fixer les idées, nous appliquerons les calculs théoriques exposés précédemment à trois exemples concrets.

Nous supposerons à cet effet que l'on adopte le mode de com-

Fig. 40

DIAGRAMMES THERMIQUES RAPPORTÉS A 1 Kg. DE GAZ BRULÉS (Eau d'injection non comprise)

Compression isothermique - Combustion isobarique sous 40 atm.



pression isothermique avec combustion sous pression constante, en vue de construire une turbine susceptible de fournir une puissance nette effective de 160 ch, c'est-à-dire capable d'actionner une dynamo de 100 kilowatts.

Le rapport des pressions sera de 40, mais pourra être obtenu

avec échappement sous la pression atmosphérique ou avec échappement sous 1/5 d'atmosphère ; dans ce dernier cas la pression de combustion sera de 9 atm au-dessus du vide absolu.

Nous examinerons quatre cas :

A — Pétrole lampant de pouvoir calorifique inférieur égal à 10 000 calories sans récupération ;

B — Mêmes données, récupération par la vapeur avec $\mu = 0{,}75$;

C — Mêmes données, récupération de gaz à gaz $\mu = 0{,}75$;

Le tableau suivant résume les résultats du calcul. Les chiffres qu'il renferme n'ont évidemment qu'une valeur relative, à cause des nombreuses hypothèses qui ont dû être faites pour les établir (p. 296).

Mais leur valeur comparative reste entière. On voit par exemple que l'injection de vapeur permet de réduire théoriquement le débit du compresseur et la puissance de cette machine de 1/3 environ, mais la vitesse de sortie des tuyères est accrue de 15 0/0 au détriment du rendement mécanique.

Chapitre VIII.

Programme des recherches nécessaires pour déterminer les bases précises du calcul d'une turbine à gaz.

Nous sommes conduits à rechercher maintenant quelles sont les données à déterminer expérimentalement pour pouvoir substituer aux calculs hypothétiques qui ont fait jusqu'ici la base du présent travail, des calculs plus ou moins précis, mais basés sur les lois réelles de l'évolution des gaz.

Tout d'abord il y aura lieu de préciser l'étude du *travail absorbé dans la compression* et *de la température finale du gaz comprimé*. Cette recherche ne peut présenter aucune difficulté expérimentale. Il y aura surtout lieu de l'entreprendre en se servant de compresseurs purement rotatifs et de turbines-compresseurs, car le cas des compresseurs à piston est aujourd'hui bien étudié.

Ensuite il faudra étudier la combustion et notamment déterminer :

1° Les dosages limites de comburant et de combustible admis-

Avant-projet d'une turbine à gaz de 150 ch nets effectifs.

	A	B	C
Consommation de gaz brûlés à l'heure P	5,5 kg × 150 = 820 kg	3,5 kg × 150 = 520 kg	5,5 kg × 150 = 820 kg
Consommation de pétrole à 10 000 calories $\frac{PQ}{10\,000}$	$\frac{820 \times 415}{10\,000}$ = 35 kg	$\frac{520 \times 524}{10\,000}$ = 27,2 kg	$\frac{820 \times 346}{10\,000}$ = 28,3 kg
Consommation de pétrole par cheval-heure *effectif*	0,233 kg	0,182 kg	0,188 kg
Puissance absorbée par le compresseur sur son arbre 150 $\frac{Nc}{Nu}$	150 × 0,75 = 143 ch	150 × 0,60 = 90 ch	150 × 0,95 = 143 ch
Puissance effective de la turbine N = Nu + Nc	150 + 113 = 293 ch	150 + 90 = 240 ch	150 + 143 = 293 ch
Température absolue de combustion	2 050 degrés	2 050 degrés	2 050 degrés
Air de combustion par kilogramme de combustible	23 kg	19 kg	29 kg
Minimum admissible pour le rapport ci-dessus	15 kg	15 kg	15 kg
Volume des gaz sortant des tuyères à 700 degrés absolus et à la pression de l'atmosphère	1 600 m³/heure	1 200 m³/heure	1 600 m³/heure
Même volume si l'on échappe sous pression réduite à 1/5 d'atmosphère	8 000 m³/heure	6 000 m³/heure	8 000 m³/heure
Vitesse théorique des gaz à la sortie des tuyères	1 600 m/s	1 840 m/s	1 600 m/s
Section théorique totale de sortie des tuyères (millim. carré)	275	168	275
Section théorique totale si l'on échappe à 1/5 d'atmosphère	1 375	840	1 375
Température absolue dans le col des tuyères	1 450 degrés	1 450 degrés	1 450 degrés
Volume d'air aspiré par le compresseur à 300 degrés absolus et à la pression atmosphérique	620 m³	400 m³	620 m³
Volume du cylindre BP du compresseur à 120 tours	52 dm³	34 dm³	52 dm³
Volume du cylindre d'un moteur à 4 temps à 115 tours de 150 HP	280 dm³	280 dm³	280 dm³

sibles pour réaliser une combustion parfaite aux différentes pressions adoptées.

2° La température de combustion *réelle* ainsi obtenue.

3° Les conditions de température et de pression permettant, de réaliser l'auto-inflammation du mélange.

4° Le temps nécessaire pour réaliser une combustion parfaite et par suite le volume de la chambre de combustion nécessaire.

5° L'influence éventuelle de la vitesse du courant gazeux sur les éléments que l'on vient d'examiner.

6° L'influence de la présence d'une quantité plus ou moins grande de vapeur d'eau dans le mélange. On recherchera d'autre part si l'eau injectée se dissocie et dans quelles conditions.

Il n'est pas difficile d'imaginer les méthodes de recherche à employer pour exécuter ce programme. D'ailleurs la détermination des températures obtenues n'offre pas de difficulté sérieuse avec les appareils de mesure électriques dont on dispose.

On passera ensuite à l'étude de la détente. Il faudra étudier l'abaissement de température produit par la détente. Cette partie des recherches sera la plus délicate de toutes. En effet, s'il est relativement facile de mesurer la température avant détente et les pressions en amont et en aval de la tuyère, il est par contre beaucoup plus difficile de déterminer la température vraie du gaz sortant de la tuyère à une vitesse considérable.

L'organe thermométrique placé au milieu d'un courant gazeux animé d'une vitesse de 1 200 à 1 800 mètres par seconde prend une température propre supérieure à celle du gaz, car la chaleur dégagée par le frottement ne se dissipe que par rayonnement. En tous cas, il faut que la température de l'organe thermométrique soit supérieure à celle du milieu ambiant pour que la chaleur ainsi dégagée soit évacuée et qu'il en résulte un état de régime stable.

Comme on ignore la valeur de la vitesse (puisqu'il faudrait pour la connaître savoir quelle est la température du gaz) on ne peut guère faire intervenir une correction. On ne pourrait en tous cas calculer la température ou la vitesse que par approximations successives.

Il semble qu'il sera préférable de laisser de côté tout d'abord la recherche de la température finale de la détente et de déterminer simplement la valeur de l'énergie cinétique du courant gazeux sortant de la tuyère. On peut y arriver en mesurant directement la poussée produite par le courant gazeux sur une

aube de turbine comme l'ont fait MM. Delaporte, Rateau, Stodola, etc.

Connaissant ainsi la vitesse de sortie w_2 on pourra déduire des formules de l'écoulement la valeur théorique de la température du gaz sortant de la tuyère par la relation $\frac{w_2^2}{2g} = EC_p(T_1 - T_3)$.

On en déduira une valeur de γ qui tiendra compte du frottement dans l'ajutage.

Des recherches de ce genre permettront, comme dans le cas des turbines à vapeur de déterminer la meilleure disposition à adopter pour la tuyère de détente et en particulier de vérifier si le profil à accélération constante proposé par Proell est préférable au profil à évasement conique régulier.

Enfin il y aura lieu de rechercher par l'expérience la valeur du coefficient de transmission de la chaleur de gaz à gaz à travers la paroi d'un faisceau tubulaire, en vue de déterminer les dimensions des récupérateurs de chaleur.

CONCLUSION

AVENIR DES TURBINES A GAZ

Nous pouvons maintenant, après la discussion à laquelle nous venons de soumettre la question des turbines à gaz, nous faire une idée assez exacte de l'avenir réservé à ces machines.

Leur grand intérêt théorique était évident pour tous ceux qui s'intéressaient à ces questions dès l'époque où le succès de la turbine de Laval vint affirmer les qualités des turbines d'action. Le célèbre inventeur entre autres ne s'y trompa pas et reprenant les idées émises par nos compatriotes Burdin et Tournaire, il proposa sans tarder de faire de sa machine une turbine à gaz. Et cependant treize années se sont écoulées depuis sans que cette application soit entrée dans le domaine de la pratique.

D'autres chercheurs se sont adonnés à la même étude, sans que nous ayons d'ailleurs à examiner ici à qui revient la priorité des idées émises, et tous ces efforts n'ont pas encore abouti à une consécration industrielle, tandis que pendant la même période la turbine à vapeur sortait des laboratoires de recherches et arrivait à conquérir le rang que l'on connaît parmi les machines thermiques.

Il n'y a pas lieu de s'en étonner si l'on réfléchit aux multiples difficultés d'ordre technique qui se présentent lorsqu'on cherche à réaliser une turbine à gaz. Mais le succès même des turbines à vapeur a suscité des recherches du plus haut intérêt qui permettent aujourd'hui d'aborder sans hésitation la construction des turbines à gaz. Quelques recherches sont encore nécessaires pour fixer les conditions de la combustion et la loi exacte de la détente. Lorsqu'elles seront achevées on pourra construire sans tâtonnement la turbine proprement dite.

Les compresseurs rotatifs, ventilateurs multicellulaires, turbines compresseurs genre Parsons, Curtis, etc. sont relativement plus éloignés d'une réalisation pratique définitive dans des conditions de rendement satisfaisantes mais tout porte à croire qu'on ne tardera pas à aboutir de ce côté également.

Dès lors on peut s'attendre à voir apparaître sur le marché industriel des turbines à gaz réunissant dans une certaine mesure les avantages des moteurs à gaz et ceux des turbines à vapeur.

Sans se dissimuler l'inconvénient résultant de la présence d'un organe de compression distinct de l'organe moteur, on doit évi-

ter d'en exagérer la gravité. Si l'on peut se passer du compresseur à pistons (et la solution correspondra à l'emploi de pressions d'échappement réduites au-dessous de celle de l'atmosphère) la turbine à gaz présentera les avantages de faible encombrement, de faible poids, etc., qui ont fait le succès des turbines à vapeur.

Le rendement thermique des nouvelles machines sera supérieur à celui des moteurs à gaz, mais à cause du faible rendement mécanique actuel des turbines, l'effet utile total sera du même ordre de grandeur que celui des moteurs Diesel, etc., et des moteurs à gaz de haut fourneau donnant le cheval effectif avec une dépense de 2000 calories.

Aucune invention sensationnelle ne pourra, selon toute vraisemblance modifier ces résultats dans l'avenir. Seuls les progrès continus réalisés dans la construction des turbines pourront améliorer le rendement industriel par la diminution des pertes mécaniques.

La turbine à gaz ne saurait donc être une panacée, ni être appelée à détrôner les turbines à vapeur. Lorsqu'il s'agit de consommer la houille ordinaire, rien ne surpasse la chaudière à vapeur. Mais avec les autres combustibles, pétrole, hydrocarbures divers, alcool, gaz pauvre, gaz de haut fourneau, etc., la combustion directe est avantageuse. Elle permet d'éviter les pertes de chaleur souvent importantes dans les chaudières et de supprimer l'encombrement et les dangers qui sont inhérents à leur emploi.

L'utilisation des gaz des hauts fourneaux, des fours à coke, etc., présentera un débouché d'une importance considérable pour les turbines à gaz, qui remplaceront avantageusement les moteurs excessivement encombrants dont on dispose actuellement.

La turbine à gaz présentera d'ailleurs pour la commande des dynamos et des alternateurs, les mêmes avantages que la turbine à vapeur. Il en est de même en ce qui concerne la propulsion des navires.

Dans un ordre d'idées un peu différent on peut espérer réaliser dans cette voie des moteurs excessivement légers applicables à la navigation aérienne.

On peut donc prédire aux turbines à gaz un champ d'applications très étendu et il est vraisemblable que les recherches pratiques feront ressortir en outre des avantages particuliers, difficiles à prévoir *a priori*, mais d'un grand intérêt industriel, comme on le constate lors de l'apparition de tout moyen d'action nouveau.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE.

Définition des turbines à gaz.

HISTORIQUE.

Travaux de Tournaire (1847-53). 195
Brevets de Laval, Nordenfeldt, etc. 197
Projets récents :
Projets basés sur le principe des moteurs à explosion. 198
— — — combustion. 200
— sur des principes divers. 201
Projets d'adaptation des compresseurs multicellulaires 202
— machines « à vapeur froide » 202
Travaux théoriques de Stodola, Neilson, Barkow, Mewes, Gentsch, etc., etc. . 203
Turbines à air. 197

SECONDE PARTIE.

Théorie thermodynamique des turbines à gaz.

Première idée des modes d'évolution réalisables et des facteurs caractéristiques permettant de faire un choix entre les divers cycles proposés ou imaginables. — Températures. — Pressions. — Rapport du travail de compression au travail utile et son influence sur le rendement mécanique. — Hypothèses et données numériques servant de base aux calculs. 204
I. — A. Cycles à introduction de chaleur isothermique. 210
Cycle de Carnot. — Cycle de Diesel et dérivés 211
B. Cycles à introduction de chaleur sous pression constante 214
— à compression adiabatique 216
— à compression isothermique 220
Discussion des rendements comparés 223
C. Cycles à introduction de chaleur sous volume constant 225
— à compression adiabatique 225
— à compression isothermique 227
II. — Cycles à récupération de chaleur 233
Cycle d'Ericson 233
Adaptation de la récupération à chacun des cycles précédents. — Discussion 235
III. — Cycles à détente prolongée au-dessous de la pression atmosphérique . . . 230
IV. — Cycles comportant une injection d'eau ou de vapeur. 242
Injection d'eau dans la chambre de combustion 242
— de vapeur — — 246
Cas où la vapeur est obtenue par récupération des chaleurs perdues . . 246
Effet de l'eau injectée dans le compresseur 250
Injection d'eau ou de vapeur après la détente. 251
Injection de gaz froids. 252

V. — Cycles combinés. — Utilisation dans une machine distincte de la chaleur contenue dans les gaz de l'échappement 255
VI. — Conclusions de l'étude thermodynamique des turbines à gaz. — Choix du mode d'évolution à adopter. — Rendement probable 257
Effet probable des divergences connues, mais non calculables, entre les hypothèses théoriques et les phénomènes réels 258

TROISIÈME PARTIE.

Turbines à gaz.

Écoulement du gaz par une tuyère 265
Diverses sortes de turbines 275
Frottement des disques tournant dans l'air 276
Rendement probable des turbines à gaz 276
Régulation des turbines à gaz 278

QUATRIÈME PARTIE.

I. — Compresseurs d'air 281
Compresseurs à piston à marche lente 282
— — rapide 285
— rotatifs 286
Turbines-compresseurs 286
II. — Récupérateurs de chaleur 288
III. — Production du mélange combustible 289
IV. — Chambre de combustion 291
V. — Tuyères de détente 292
VI. — Roues mobiles 293
VII. — Avant-projet d'une turbine à gaz 294
VIII. — Programme des recherches à entreprendre 295

CONCLUSION.

Avenir des turbines à gaz 299

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

PREMIÈRE PARTIE.

SOSNOWSKI : *Roues et turbines à vapeur*, Paris, Béranger, 1904.
DE GRAFFIGNY : *Les turbomoteurs*, Paris, Bernard, 1904.
GENTSCH : *Gasturbinen, Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen*, Oldenburg à Munich, 1904-1905.
Texte des brevets français, Conservatoire national des Arts et Métiers.
BERTHIER : *Les turbines à gaz, Génie Civil*, décembre 1905.
CANOVETTI, Ingénieur des Arts et Manufactures : *Studio di un motore a idrocarburo*, Milan, 1905.
René ARMENGAUD : *La turbine à gaz*, Congrès de Liège, 1905.

SECONDE PARTIE.

WITZ : *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole*, Paris, Bernard, 1903.
VERMAND : *Les moteurs à gaz et à pétrole, Encyclopédie Léauté.*
Georges MOREAU : *Théorie des moteurs à gaz*, Paris, Béranger, 1902.
BARKOW : *Studien zur Frage der Gasturbine*, Rostock, 1905.
NEILSON : *A scientific investigation into the possibilities of gasturbines, Engineering*, novembre, 1904.
REEVE : *The question of the gas turbine, Engineering Magazine*, juin 1905.
SCHREBER : *Die Temperatur in den Turbinengasmaschinen.*
LUCKE : *Engineering Magazine*, mars 1905.
PROELL : *Beitrag zur Theorie der stationären Strömung von Gasen und Dämpfen (Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen*, 1905).
MEEWES : *Wichtige Fragen zur Theorie der Gasturbine* (« *die Turbine* », 1905).
BAUMANN : *Zur Ausführungsmöglichkeit von Gasturbinen (Zeitschrift fur das gesamte Turbinenwesen*, 1905-1906).
STOLZE : *Allgemeine Bedingungen für Gasturbinen*, (« *die Turbine* », 1904).
ANONYME : *Die Bestimmung der Leistung von Kraftmaschinen*, (« *die Turbine* », 1905).
ROYER : *Théorie des turbines à gaz, Revue de Mécanique*, novembre 1904.
Giuseppe SARTORI : *La turbina a vapore ed a gas*, 1905.
BANKI : *Le moteur Diesel et les moteurs thermiques, Génie Civil*, 1899.

TROISIÈME PARTIE.

RATEAU : *Les Turbomachines*, Paris, Bernard, 1900.
DELAPORTE : *Revue de Mécanique*, 1902.
STODOLA : *Die Dampfturbinen*, 1905.
YANKOSKI : *Sur la reversibilité des turbo-machines hydrauliques, Revue de Mécanique*, 1904.
DE SAINT-VENANT : *Mémoires et expériences sur l'écoulement de l'air, Journal de l'École Polytechnique*, 18e cahier.

QUATRIÈME PARTIE.

KOESTER : *Les compresseurs d'air, Revue de Mécanique*, 1905.
BARBET : *Traction des tramways par l'air comprimé, Génie Civil*, 1895.
RIEDLER : *Compressoren*, 1900.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MOTEURS

ET SPÉCIALEMENT

LES TURBINES A GAZ

PAR

M. J. DESCHAMPS (1)

J'ai déjà fait observer que la loi de Carnot ne pouvait servir de base à la théorie des moteurs à gaz. Je suis obligé d'insister parce que les ouvrages, considérés comme classiques, sont entièrement faits dans un esprit contraire et que l'on y trouve, au lieu d'une théorie se bornant aux relations connues de la thermodynamique et à la discussion des lois expérimentales, une série de calculs du rendement que les moteurs devraient fournir, si les gaz se transformaient suivant certains cycles, comme s'il y avait des cycles et qu'on pût leur appliquer la loi de Carnot. Ces spéculations peuvent tromper gravement les Ingénieurs qui poursuivent des recherches.

Il y a plusieurs motifs d'établir que la loi de Carnot ne doit pas être appliquée. D'abord, au point de vue purement abstrait, la loi de Carnot ne peut pas être acceptée sans réserves. La démonstration en est laborieuse et repose entièrement sur ce postulatum qu'une quantité de chaleur ne peut pas être transportée intégralement, d'une source à une source plus chaude, sans dépense d'énergie provenant d'une autre origine.

Autrement dit, que, sans déchet, ou sans nécessiter une consommation de courant électrique, de force motrice, ou d'une énergie quelconque, chimique par exemple, on ne peut emprunter 100 calories, à un réservoir de vapeur à 100 degrés, pour les transporter à un réservoir de vapeur à 500 degrés.

Ce postulatum, constamment admis, ne semble évident que parce qu'on n'imagine pas le moyen de produire un semblable résultat. Ce n'est pas, en tout cas, une vérité d'expérience, comme le postulatum d'Euclide. C'est vrai, jusqu'à ce qu'on ait prouvé le contraire.

(1) Voir procès-verbal de la séance du 2 février 1906.

Or il n'est pas absurde d'imaginer qu'on puisse y parvenir. On le comprend mieux en modifiant l'énoncé.

On peut, en effet, définir autrement le postulatum et dire : « Les calories mises en liberté, provenant de ce qu'un corps est refroidi entre 100 degrés et 0 degrés, par exemple, ne peuvent pas être employées à échauffer un autre corps de 0 degré à 500 degrés, la même quantité de chaleur entrant en jeu ».

Il est évident que, si une transformation semblable pouvait être faite, même avec un déchet, pourvu qu'il soit restreint, la loi de Carnot ne serait pas vraie.

Or il y a un phénomène singulièrement semblable.

Il est certain qu'un courant électrique de 100 volts, par exemple, ne semble pas, à première vue, pouvoir être, sans concours extérieur, transformé en courant de 500 volts. On ne peut le faire, ni par dérivation, ni en intercalant des résistances. Avant que l'on n'imagine de transformer le courant en travail et, avec celui-ci, de produire immédiatement une énergie presque égale sous forme de courant à plus haute tension, c'est-à-dire que l'on n'invente le transformateur, l'opération pouvait même sembler absurde.

Peut-on dire qu'il n'existe pas, aussi, une forme intermédiaire qui puisse emmagasiner les calories d'un fluide qui se refroidit de 100 degrés à zéro et que la réaction produite ne pourra pas, dans d'autres conditions, être réduite et donner naissance à la même quantité de chaleur en élevant la température d'un corps de zéro à 500 degrés ?

Sait-on, en particulier, ce qui se produit dans les corps des animaux, où il ne semble pas que les températures puissent être bien élevées et où une combustion produit du travail avec un rendement qui n'est pas négligeable ?

Ceci ne veut pas dire que la loi de Carnot doive être abandonnée et, réduite aux idées mêmes émises par Carnot, elle a certainement une très grande valeur.

En la vulgarisant, on peut même démontrer, sans faire intervenir de conceptions mathématiques, qu'un fluide qui a été échauffé, qui a travaillé en s'échauffant, puis en se détendant, soit jusqu'à la pression atmosphérique, soit jusqu'à la température ambiante, est dilaté, contient donc plus de chaleur que dans son état normal, auquel il ne peut revenir qu'en faisant abandon de la quantité de chaleur en excès qu'il possède encore, qu'il y a donc un déchet nécessaire, ce qui est le principe même de la loi.

Cette perte obligatoire ne pourra-t-elle jamais être récupérée, grâce à une double transformation, voici ce qui ne me semble pas indiscutablement établi et pourquoi je voudrais que la loi de Carnot ne soit pas considérée comme un dogme.

Un second argument qui a toute valeur pour des ingénieurs, c'est qu'il n'existe aucune vérification expérimentale de la loi de Carnot, sinon à des températures bien plus basses que celles envisagées pour les moteurs à gaz. Ceci suffit pour que la loi soit inapplicable, car, en thermodynamique, la température absolue a, pour définition même, la vérification de la loi de Carnot, c'est-à-dire que 1 000 degrés, en température absolue, est déterminé par cette épreuve qu'un corps, parcourant un cycle de Carnot, entre cette température et 300 degrés absolus par exemple, fournit du travail avec le rendement $\frac{1000-300}{1000}$.

C'est donc tout à fait arbitrairement que nous disons, par exemple, que la température absolue de fusion de l'argent est (945 + 273) degrés.

Nous nous basons pour évaluer la température sur la dilatation de l'air et non même d'un des éléments de l'air. Nous aurions un chiffre bien différent en nous basant sur la chaleur d'échauffement, la chaleur spécifique étant considérée comme constante. Ce sont là des extrapolations plus que téméraires. Ce sont même de pures suppositions qui, dès que la température devient élevée, peuvent différer, de la réalité, avec 50 0/0 d'écart.

Appliquer la loi de Carnot à la température supposée de combustion des gaz, évaluée par un procédé choisi de préférence sans motif réel, alors que cette température ne pourrait être connue que précisément par la vérification expérimentale, que l'on n'a pas tentée, de cette même loi de Carnot à la même température, c'est un cercle vicieux.

Le principe de Carnot est donc inapplicable. En supposant cependant qu'on l'admette et que les températures soient connues, ce n'est pas l'égalité de Carnot, mais l'inégalité de Clausius $\int \frac{dq}{T} < o$ qui devrait être écrite, les termes négatifs ayant, dans les plus nombreux cas, une valeur très supérieure à celle des termes positifs. On sait que c'est la loi qui s'applique aux cycles non réversibles.

La loi de Carnot ne s'applique qu'aux cycles réversibles et

comment peut-on appeler cycle toute une série de transformations où l'on part, par exemple, de pétrole et d'air, pour aboutir à des fumées que l'on serait matériellement incapable de transformer, à nouveau, en pétrole et air ? Quelle opération peut être moins réversible qu'une explosion ?

Pourquoi aller chercher l'appui des lois qui ne se peuvent démontrer rigoureusement, ni contrôler, alors qu'il est si facile de raisonner sur ce qui est visible et mesurable. Il y a, notamment, les diagrammes qui s'établissent si facilement dans les moteurs à gaz à piston et que l'on pourra construire par points pour les turbines.

Leur examen évite les erreurs singulières qui ont fait perdre tant de temps et d'argent à une multitude d'Ingénieurs, telles que la recherche de la combustion isothermique. La lecture du premier brevet Diesel est frappante à ce sujet, et certains ont encore la conviction que la combustion se fait à température constante dans ce moteur, et l'idée bizarre que cela constituerait un avantage.

Examinons les conditions, dans lesquelles on peut construire un moteur à gaz, type alternatif ou type turbine.

On comprime, d'abord, le gaz suivant une loi représentée par la courbe *ab* dans le diagramme (fig. 1).

La compression terminée, le volume ne pourra plus être réduit, le diagramme devra donc continuer à droite de *b*. Il est limité par la verticale *bz*.

Quelle forme doit avoir, nécessairement, cette compression ? Faire de la compression isothermique ? il n'y faut pas songer.

Pour les moteurs à gaz à quatre temps, l'erreur serait manifeste. Le travail de la compression $\int pdv$ est plus élevé suivant une isotherme que lorsque la compression est adiabatique, à égalité d'élévation de pression, et l'élévation simultanée de la température facilite la combustion.

Mais ce qui rend ce mode de compression inadmissible, c'est que la compression isothermique demande des pompes multiples à action lente et un matériel très lourd. Cet argument suffit pour que l'on ne doive pas parler, non plus, de ce mode de compression lorsqu'il s'agit de turbines.

Evidemment on peut faire des calculs qui amènent même certaines conceptions séduisantes et qui favoriseraient la compression isothermique. C'est ainsi que l'on peut établir que certaine compression isothermique permettrait aux gaz détendus de s'écarter

peu de la température ambiante, de sorte que l'on éviterait l'une des difficultés de la turbine à gaz, le refroidissement artificiel du fluide actif.

Mais restons ici dans l'examen des moyens que l'on peut pratiquement employer, ce sera peut-être l'intérêt principal de cette étude.

La compression sera donc voisine de l'adiabatique, aussi voisine que les pertes aux parois le permettront.

Quelle valeur aura cette compression ?

Dans les moteurs à quatre temps, ou dans le moteur Diesel, enfin dans tous ceux où la compression se fait dans le cylindre même de détente et par le même piston, il est certain que le travail est $\int pdv$.

D'autre part, quand la compression est faite par la transformation de l'énergie d'un flux gazeux dont la vitesse est réduite, la formule de Zeuner donne $-\int vdp$.

De même, lorsque la compression est faite dans un autre réservoir que le cylindre de détente, elle coûte bien $\int pdv$, mais il faut introduire le gaz comprimé dans le cylindre moteur, ce qui coûte $\int d\,(pv)$ de sorte que, là aussi, le travail consommé est $-\int vdp$.

Or, si la compression est de la forme voisine de l'adiabatique $pv^n = const$,

On a $n\int pdv = -\int vdp$.

Autrement dit $-\int vdp$ est plus grand que $\int pdv$; il est bien supérieur d'un tiers.

Cela constitue un désavantage marqué de la turbine à gaz par rapport au moteur à gaz à quatre temps et au moteur Diesel, désavantage d'autant plus réel que le rendement du compresseur, qui, nécessairement aussi, doit être à grande vitesse pour la turbine, est très mauvais.

Il y a là une infériorité importante de la turbine à gaz, pour laquelle la compression est deux fois plus onéreuse.

C'est la même raison, j'en suis convaincu, qui a causé l'infériorité des anciens moteurs à gaz à deux temps, si préférables par leur souplesse qui était celle même des machines à vapeur. Cette considération n'a pas été encore signalée à ma connaissance.

Evidemment le travail fourni en plus au compresseur est restitué au moteur, mais il est réduit par le rendement de l'un et

de l'autre. En évaluant à 85 0/0 les rendements et en prenant un diagramme ordinaire, il est facile de voir que le travail, disponible sur l'arbre, est diminué de 20 0/0 environ quand la compression se fait en dehors du cylindre. Il n'y a pas, je crois, à chercher d'autres explications de l'infériorité du moteur où la compression ne se fait pas dans le cylindre même. On a parlé de refroidissement, aussi subit qu'invisible, des gaz, passant d'un cylindre dans un autre, pour expliquer cette chute de rendement. Cette ingénieuse, mais peu vraisemblable, hypothèse est insuffisante pour expliquer la disparition d'une classe de moteurs.

Peut-être trouvera-t-on, pour la turbine, un dispositif assurant un avantage semblable à celui dont jouissent les moteurs actuels. Ce serait un perfectionnement considérable.

La compression est généralement limitée, car, si elle est suffisamment élevée, le mélange gazeux atteint les conditions dans lesquelles il peut s'enflammer et on a des allumages prématurés.

Cependant la compression peut être aussi grande que l'on veut, si les deux éléments, air et combustible, sont comprimés séparément. Cela se fait dans les moteurs Diesel, et dans les moteurs, ou turbines, à combustion sous pression constante. Il ne semble pas que ce soit facile pour les appareils à explosion, à moins que, dans la chambre d'explosion, les éléments introduits ne soient d'abord séparés par une cloison, ouverte ensuite ce qui est difficile à imaginer.

La compression étant donc représentée en *ab (fig. 1)*, examinons les conditions où l'on se trouve pour que la combustion s'effectue.

L'on est toujours limité par une pression que la résistance des parois ne permet pas de dépasser.

Représentons-la en *ij*.

D'autre part, peut-être y aura-t-il des moteurs, ou turbines, surtout dans les appareils à chambre de combustion sous pression constante, où une température critique ne pourra pas être dépassée, de sorte qu'une isotherme *lm* restreindra aussi le champ. C'est peu probable, à cause du refroidissement des parois que l'on sera vraisemblablement amené à faire dans les turbines et qui a retiré tout souci semblable dans les moteurs à piston.

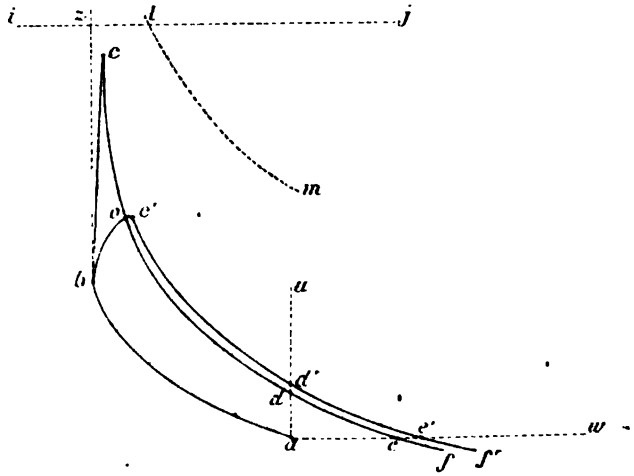
Le champ est donc ainsi limité : la courbe de combustion devra être comprise entre la verticale *bz*, l'horizontale *ij* et l'isotherme *lm*.

La détente sera naturellement aussi adiabatique que possible

Il ne peut y avoir aucun avantage, ni théorique, ni pratique, à perdre de la chaleur pendant la combustion ou la détente.

Elle s'arrêtera nécessairement à la pression atmosphérique. Il

Fig 1



ne faut pas songer, en effet, dans les considérations que je poursuis ici, c'est-à-dire dans le domaine des choses réelles, à détendre, au-dessous de l'atmosphère, des fluides qui ne peuvent être condensés que très partiellement, et ne pourraient fournir de la chaleur ou du travail que grâce à des pompes à air et à des récupérateurs, appareils encombrants, lourds et de mauvais rendement.

On n'a pas marché, dans cette voie, avec les moteurs à piston qui se prêteraient mieux à des installations pondéreuses. C'est folie d'y songer pour des turbines à gaz.

Le diagramme doit donc se terminer par une ligne de détente, genre adiabatique, et il est limité encore par l'horizontale *aw*.

C'est dans ce champ que nous pouvons chercher quelles sont les meilleures conditions de combustion, de façon que la surface du diagramme soit la plus grande, pour le même nombre de calories employées.

Ce champ, ainsi limité, est commun aux moteurs à gaz habituels et aux turbines. Mais, cependant, dans les moteurs ordinaires à piston, on ne détend pas au delà du volume d'admission c'est-à-dire que le champ est encore restreint, à gauche de la verticale *au*.

On a bien essayé de faire des moteurs à détente multiple. Les essais ont été malheureux. Le bénéfice réalisé était compensé par la diminution du rendement organique. On fait des moteurs à admission réduite (Anciens Établissements Cail), mais, à pleine charge, dans les conditions où le rendement est le meilleur, ils marchent à admission totale.

Evidemment, on peut, en principe, poursuivre la détente dans les moteurs à piston. Mais les conditions sont mauvaises. Les pertes aux parois écartent beaucoup, de l'adiabatique, les courbes de détente et réduisent la pression assez rapidement, de telle sorte que les pistons qui travailleraient avec la pression résiduelle, fourniraient peu de puissance.

Les moteurs, déjà encombrants, devraient être considérablement augmentés, pour un faible résultat.

Au contraire, la courbe de détente, ainsi que celle de l'explosion, peuvent être bien plus favorables avec la turbine à gaz, à cause du rapide passage au travers des parois qui, même refroidies, prendront moins de chaleur. La détente peut être poussée jusqu'aux environs de la pression atmosphérique sans inconvénient et sans augmentation sérieuse du matériel, avec la turbine qui devra, ainsi, fournir un résultat, en travail indiqué, très supérieur à celui des moteurs habituels.

Examinons maintenant quel est le type de combustion qui est le plus avantageux.

Tracer, dans ces limites, un cycle de Carnot et s'ingénier à le réaliser, serait une erreur complète. Le résultat obtenu ne fournirait pas du tout le maximum de rendement.

Pour les moteurs à piston, l'expérience est faite. Tant que la compression n'est pas trop élevée, comme dans la figure 1, l'explosion, c'est-à-dire la combustion sous volume constant, à condition qu'elle ne soit pas trop brisante, a été préférée et même uniquement admise, à condition, bien entendu, que la pression ne dépasse pas la limite *ij*.

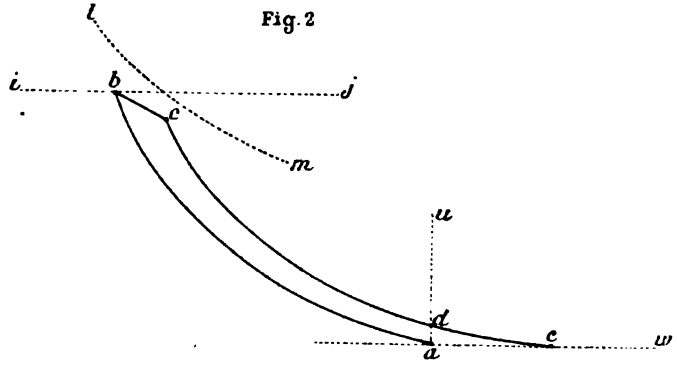
Comme il y a eu une infinité d'essais avec les moteurs à gaz, que l'on en a construits, expérimentés, même en marche industrielle, de tous les types possibles, et que l'on constate qu'aucun moteur, autre que ceux à explosion, n'a survécu, pour les petites compressions du moins, on peut dire qu'il n'y a pas de doute, sur la supériorité de l'explosion, dans les conditions actuelles.

Il est évident que si, au contraire, la compression peut être

poussée jusqu'à cette limite même *i j*, comme c'est le cas pour le moteur Diesel, une courbe analogue à *a b c d (Fig. 2)* indique le diagramme préférable. Ceci met d'accord ceux qui préconisent l'un ou l'autre des procédés.

Si, dans le moteur Diesel, la courbe *b c* n'est pas une courbe à pression constante, c'est parce qu'il y a une condition qui domine encore; il faut injecter le pétrole au fur et à mesure de sa combustion. C'est le tâtonnement et l'expérience qui ont fait choisir une forme telle que *b c*. Si quelqu'un a songé à réaliser, là, pratiquement, une isotherme, il a simplement fourni un bel exemple du mal que peuvent faire les théories mal établies.

Fig. 2



Il est évident que, si un combustible comme l'acétylène donne une explosion brutale, on sera dans l'obligation d'abandonner l'explosion, ou, au moins, par un procédé approprié, d'en briser la pointe pour se tenir dans les limites du champ. C'est ainsi que, réellement, on doit modifier les conditions de la combustion pour arriver au rendement maximum.

Ceci montre donc que l'explosion a été préférée pour les moteurs à piston, autant que la compression n'a pu être très élevée. Or le travail du compresseur est très inférieur dans le moteur à piston à celui nécessaire dans la turbine, ainsi que je l'ai montré, et il est établi que, dans le moteur à explosion, la compression est beaucoup moins grande que dans le moteur à combustion sous pression. Il ne me semble donc pas douteux, qu'actuellement au moins, tant que les compresseurs-turbines, qui sont seuls assez légers pour accompagner la turbine-moteur et lui garder son avantage de faible poids et petit encombrement,

ne pourront donner que de petites compressions avec un rendement inférieur, la turbine devra être, de préférence, une turbine à explosion.

Celui, comme moi, qui travaille la turbine à gaz, doit, je crois, rechercher, à chaque moment, les instructions que l'étude des moteurs à piston peut fournir. Il ne faut pas recommencer, pour la turbine à gaz, les écoles qui ont été déjà faites avec les moteurs actuels. Evidemment, les conditions sont un peu différentes, il faut savoir retrouver les phénomènes qui correspondent d'un appareil à l'autre. Mais ce qui est démontré avoir été néfaste pour l'une des machines, doit être évité pour l'autre, à moins de puissantes contre-indications.

Si l'expérience donne un avis très net, pour établir la supériorité de l'explosion, des considérations théoriques peuvent aussi être invoquées.

Nous sommes obligés, au moins actuellement, de négliger les pertes aux parois, ou du moins d'en tenir compte sans précision. Aussi, les raisonnements qui suivent s'appliquent-ils plus exactement aux turbines, où le déchet est réduit, qu'aux moteurs à piston.

Si nous considérons deux courbes de combustion et de détente *a b c d e*, *a b c' d' e'*, la combustion ayant lieu de *b* en *c*, ou de *b* en *c' (Fig. 1)*, et la même quantité de calories étant employée, j'ai démontré que ces courbes se coupaient toujours et en seul point *o* (1).

De même, si l'on suppose les pertes aux parois nulles, et que la détente se prolonge indéfiniment en *f*, *f'*, la surface *b c o* est égale à celle comprise entre *o c' d' e' f'* et *o d e f*. C'est facile à comprendre, puisque les quantités de chaleur mises en jeu sont les mêmes.

En réalité, les quantités diffèrent parce que les pertes aux parois diffèrent suivant le genre de combustion. Elles ne semblent pas, toutefois, s'écarter beaucoup, parce que les pertes aux parois ne sont jamais qu'une partie, 30 0/0 environ de la chaleur mise en œuvre dans les moteurs à piston, ensuite parce que les courbes se coupent seulement en un point. S'il y a plus de chaleur perdue pendant la première partie de la combustion, il y en a moins pendant la seconde et la détente.

On est donc très près de la vérité, à 5 0/0 tout au plus, en

1) *Revue de Mécanique*, décembre 1900.

admettant, pour les diagrammes réels, les conclusions que fournit l'examen de diagrammes théoriques, où dont les pertes aux parois seraient nulles.

Celles-ci sont très nettes. La détente étant toujours limitée soit en *d d'* (moteur à piston), soit en *e e'* (turbines), une partie de la surface comprise entre *o d e f* et *o c' d' e' f'* ne peut être utilisée. Le diagramme qui aura la plus grande surface sera donc celui qui aboutira en *d*, ou en *e*, le plus près de *a*, c'est-à-dire dont la détente sera plus voisine de la compression.

L'expérience confirme très nettement cette manière de voir. Dans les moteurs où la quantité de mélange tonnant est dosée et de qualité constante, mieux l'explosion se fait, plus grande est la surface du diagramme, plus basse est la pression à l'échappement.

C'est évident encore parce que, plus la courbe de détente est haute, plus la température d'échappement des gaz est élevée, ce qui prouve qu'une moins grande quantité de chaleur a été employée utilement.

La conclusion qui s'impose, c'est que la combustion doit être faite de façon que le diagramme serre d'aussi près que possible la partie gauche du champ, c'est-à-dire que la combustion soit sous volume constant (explosion) tant que l'on n'atteint pas la limite de pression, ou une limite de température, ou suive ces limites quand on les atteint.

Le même raisonnement conduit à préférer les compressions préalables, les plus élevées possibles, compatibles avec la nature du mélange tonnant employé qui, pour les mêmes motifs, permettent les détentes les plus complètes.

Ces conclusions s'appliquent encore plus rigoureusement aux turbines qu'aux moteurs à piston.

En résumé, les turbines ont, sur les moteurs à gaz à piston, deux avantages considérables.

On peut y détendre les gaz jusqu'à la pression de l'atmosphère, tandis que l'on est limité à 2,5 kg environ dans les moteurs actuels, et que la pression serait encore plus grande à l'échappement, si la perte aux parois n'avait une action aussi néfaste.

Sans se faire trop d'illusion, il est certain que cette cause de déchet sera fortement réduite dans les turbines.

Ces deux motifs suffisent à assurer un avantage considérable aux turbines par rapport aux moteurs à piston, et dépassent

beaucoup l'inconvénient capital qui est celui de la compression, inconvénient moins grave dans les turbines à explosion.

Le fonctionnement de ces turbines à explosion présente, évidemment aussi, une difficulté assez sérieuse, à cause des irrégularités du flux, ainsi que M. Sekutowicz l'observe d'après M. Stodola.

Examinons les causes. Si l'on introduit un mélange tonnant dans une enceinte fermée et que l'on détende après l'explôsion, les gaz brûlés s'échappent avec une vitesse constamment décroissante, jusqu'à ce que la pression atteigne celle du milieu ambiant.

Si ce jet est envoyé sur les turbines, la forme de la tuyère ne peut pas être établie convenablement pour des vitesses variables. Tantôt les gaz s'échappent trop vite pour que le rendement de la turbine soit bon, tantôt trop lentement et la turbine les aspire.

L'effet est détestable. Il ne faut donc pas songer à procéder de cette façon barbare.

Si l'on veut, au contraire, que les explosions maintiennent, dans la chambre, une pression relativement élevée, de façon que la vitesse du flux gazeux soit toujours supérieure à celle des aubes, on est obligé de sacrifier une partie importante de la détente et on peut même avoir à dépenser un travail supplémentaire de compression.

Je crois éviter ces deux difficultés en divisant la détente en une série de phases, de façon que, si l'explosion produit une pression maxima de 20 kg, par exemple, les explosions successives maintiennent, dans une première chambre, une pression variant de 19 à 20 kg, dans une autre chambre de 18 à 19 kg, etc., jusqu'à la pression atmosphérique.

Le résultat peut être obtenu par des dispositions très simples et l'inconvénient signalé être ainsi supprimé.

D'autre part, les difficultés dont on a souvent parlé et relatives à la haute température des gaz brûlés, même détendus, sont résolues expérimentalement aujourd'hui. Les essais de MM. Lemale et Armaingaud sont caractéristiques.

On peut donc dire, contrairement à l'opinion communément admise, que la turbine à gaz trouve la voie toute tracée, que son développement sera rapide et très vraisemblablement sans grands heurts, si l'on utilise les considérables travaux faits déjà au sujet de la turbine à vapeur et des moteurs à gaz.

La turbine à gaz permet les longues détentes qui sont interdites au moteur à gaz. Elle doit avoir les avantages de la turbine à vapeur, légèreté, faible encombrement, mais elle est très supérieure à sa sœur ainée par son rendement thermique, préférable même à celui du moteur à gaz.

Enfin, la turbine à pétrole, sans chaudière, sans gazogène, réalisera certainement la conception idéale de la machine à grande puissance sous un faible volume, dont les applications se multiplient tous les jours.

L'INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE AUX ÉTATS-UNIS

PAR

M. G. RIVIÈRE

I

INTRODUCTION

Objet du mémoire.

L'étendue limitée d'un mémoire à la Société des Ingénieurs Civils de France ne permet de traiter que très incomplètement un sujet aussi vaste que celui de l'« Industrie sidérurgique aux États-Unis ». Le but de ce mémoire, beaucoup plus modeste, est de concréter une idée générale sur l'état actuel de la sidérurgie aux États-Unis.

Après une étude statistique des centres d'approvisionnement et de production, nous étudierons rapidement ce qui caractérise, depuis les exploitations de minerai jusqu'aux installations de laminoirs, ce qu'on a appelé « les méthodes sidérurgiques américaines ».

Historique.

Le berceau de l'industrie sidérurgique, aux États-Unis, est la Pensylvanie. L'industrie primitive trouvait là, sur place, tout ce qui lui était nécessaire : minerais et combustibles (houille et anthracite).

Jusqu'en 1867, l'acier était obtenu par le seul procédé du creuset; le fer y était produit dans de nombreuses petites forges locales. En 1867, une aciérie Bessemer fut érigée à Steelton, sur l'emplacement actuel des usines de la Pennsylvania Steel C°. La même année, une seconde installation s'élevait à Troy (N.-Y.), bientôt suivie par une troisième, à Johnstown, par la Société Cambria Steel C°.

Dès 1870-1871, la production d'acier Bessemer atteignait les

50 0/0 de la production totale, soit environ 40 000 t par an. La totalité de cet acier était transformé en rails *(tableau I)* (1).

De 1872 à 1879, la production d'acier Bessemer s'élevait rapidement de 100 000 à 800 000 t, pendant que la production d'acier au creuset restait stationnaire à 50 000 t, et que la production d'acier Martin atteignait également 50 000 t.

La plus grande partie de cet acier était produit dans l'est de la Pensylvanie, mais de nouvelles installations, dans l'ouest, commençaient à prendre quelque importance : les Aciéries Edgar Thomson, à Braddock, près Pittsburg; de nouvelles installations à Chicago et Cleveland.

De 1875 à 1890, la production annuelle d'acier Bessemer, tout en décuplant — de 350 000 à 3 700 000 t —, reste les 86 à 88 0/0 de la totalité. Durant cette même période, la production annuelle d'acier Martin passait de 8 000 à 500 000 t.

Le premier four Martin avait été construit en 1868, par la New Jersey Steel and Iron C°, mais le développement du procédé fut très lent, et, en 1880, la production totale annuelle n'était encore que de 100 000 t. Jusqu'à cette date, les aciéries Martin devaient s'approvisionner en minerais espagnols, et les établissements sidérurgiques situés près de la côte Est étaient dans la situation la plus avantageuse.

De 1880 à 1890, le développement du district minier du lac Supérieur, et l'organisation rapide de méthodes économiques de transport sur les grands lacs, tout en rendant peu à peu l'industrie sidérurgique indépendante des importations de minerai étranger, allait contribuer au transport de cette industrie plus à l'ouest : à Pittsburg, à Cleveland, à Chicago.

En 1890, la production d'acier Bessemer représente 87 0/0 du total, celle d'acier Martin, 12 0/0. En 1887-88, 85 0/0 de l'acier Bessemer est laminé en rails, mais, dès 1890, cette proportion tombe à 63 0/0, puis continue à s'abaisser rapidement, en 1891-93, à 50 0/0, et en 1894-96, à 33 0/0. C'est à cette époque que l'acier Bessemer se substitue presque complètement au fer pour tous les profilés employés en construction, pour les tôles, les plats et larges plats de toutes sortes.

A cette même époque, le procédé Martin prend un développement considérable: la fabrication des aciers durs, puis celle des

(1) La plupart des statistiques de ce mémoire ont été extraites ou condensées des publications officielles de l'« United States Geological Survey ». Sauf spécification contraire, les unités utilisées sont les unités dérivées du système métrique.

TABLEAU I.

Production d'acier aux États-Unis depuis 1867 :

ANNÉES	ACIERS BESSEMER	ACIERS MARTIN	ACIERS de TOUTES SORTES	RAILS BESSEMER	ACIER BESSEMER 0/0 du total
1867. .	2 721	»	19 957	2 313	14
1868. .	7 810	»	27 214	6 554	28
1869. .	10 885	907	31 750	8 753	34
1870. .	38 100	1 361	69 850	30 842	53
1871. .	40 821	1 813	74 385	34 698	55
1872. .	108 954	2 721	145 241	85 334	75
1873. .	154 805	3 175	201 976	117 045	77
1874. .	174 110	6 350	219 178	131 484	79
1875. .	340 647	8 209	396 035	263 854	86
1876. .	477 053	19 493	541 722	374 161	88
1877. .	508 532	22 706	578 731	392 038	88
1878. .	664 233	32 771	743 688	499 289	89
1879. .	842 710	51 663	950 237	620 452	89
1880. .	1 091 450	102 464	1 267 190	865 831	86
1881. .	1 396 234	133 501	1 613 727	1 206 774	87
1882. .	1 538 921	145 684	1 761 479	1 304 612	87
1883. .	1 500 982	121 265	1 700 311	1 167 088	88
1884. .	1 397 539	119 395	1 575 693	1 012 934	89
1885. .	1 543 740	135 510	1 739 310	974 822	89
1886. .	2 305 447	222 446	2 603 503	1 599 898	89
1887. .	2 983 009	327 222	3 392 496	2 135 534	88
1888. .	2 551 339	319 347	2 945 831	1 408 457	87
1889. .	2 977 087	380 535	3 439 903	1 534 217	87
1890. .	3 747 283	521 443	4 345 504	1 897 722	87
1891. .	3 299 375	589 029	3 966 707	1 313 641	83
1892. .	4 235 129	680 607	5 006 422	1 562 189	85
1893. .	3 267 136	749 696	4 084 314	1 147 460	80
1894. .	3 628 453	797 494	4 482 624	1 032 269	81
1895. .	4 987 674	1 155 376	6 212 671	1 320 422	80
1896. .	3 982 624	1 319 479	5 366 196	1 134 829	74
1897. .	5 762 919	1 634 409	7 271 468	1 670 832	77
1898. .	6 714 761	2 265 976	9 075 782	2 008 329	74
1899. .	7 707 735	2 994 473	10 810 094	2 306 914	71
1900. .	6 791 796	3 452 505	10 351 342	2 421 792	66
1901. .	8 852 714	4 730 809	13 689 172	2 916 748	65

profilés de construction, passent successivement du domaine du Bessemer à celui du Martin. De 1890 à 1902, la production d'acier Bessemer s'abaisse de 88 à 65 0/0 de la production totale, en même temps que la proportion transformée en rails s'élève de 33 0/0 (1894-96) à 45 0/0.

Actuellement, on peut estimer que les deux tiers de la production des États-Unis proviennent du procédé Bessemer acide, et un tiers du procédé Martin, dont un quart sur sole acide et trois quarts sur sole basique. L'emploi de la sole basique s'étend d'ailleurs de plus en plus, favorisée à la fois par la bonne qualité des produits obtenus et par la difficulté croissante de l'obtention de minerais et de fontes assez pauvres en phosphore pour être susceptibles du traitement acide.

II

ÉTUDE ÉCONOMIQUE & STATISTIQUE

LES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

Combustibles.

La carte des États-Unis *(fig. 1)*, tirée des publications officielles de l'« United States Geological Survey », donne une idée très exacte de la situation des principaux centres d'approvisionnement en combustibles : houille et anthracite, en minerais, ainsi que des principaux centres producteurs.

Houille.

Au point de vue métallurgique, les États-Unis se suffisent quant au combustible. Une quantité assez considérable de houille est bien importée de la Colombie Britannique aux ports de l'océan Pacifique et du Cap Breton, à Boston, mais elle est entièrement utilisée à la fabrication du gaz d'éclairage.

De même que la portion Est de Pensylvanie peut être considérée comme le seul district important producteur d'anthracite, de même, la portion ouest vient avec une avance considérable quant à la houille. Le tableau II donne la superficie et la production des sept bassins houillers aux États-Unis, de 1898 à 1902. Au point de vue sidérurgique, les districts « Appalachian » et « Rocky Mountain » fournissent en réalité toute la houille et tout le coke consommés.

Depuis 1890, le prix de l'anthracite à la mine a varié de 7 à 10 f la tonne ; celui de la houille, de 4 à 6 f.

Anthracite.

C'est une erreur de croire encore à l'importance des hauts fourneaux américains à anthracite. Depuis longtemps, ceux qui existaient dans l'est de la Pensylvanie, dans le New-Jersey ont été remplacés par des hauts fourneaux alimentés en coke de

Fig. 1

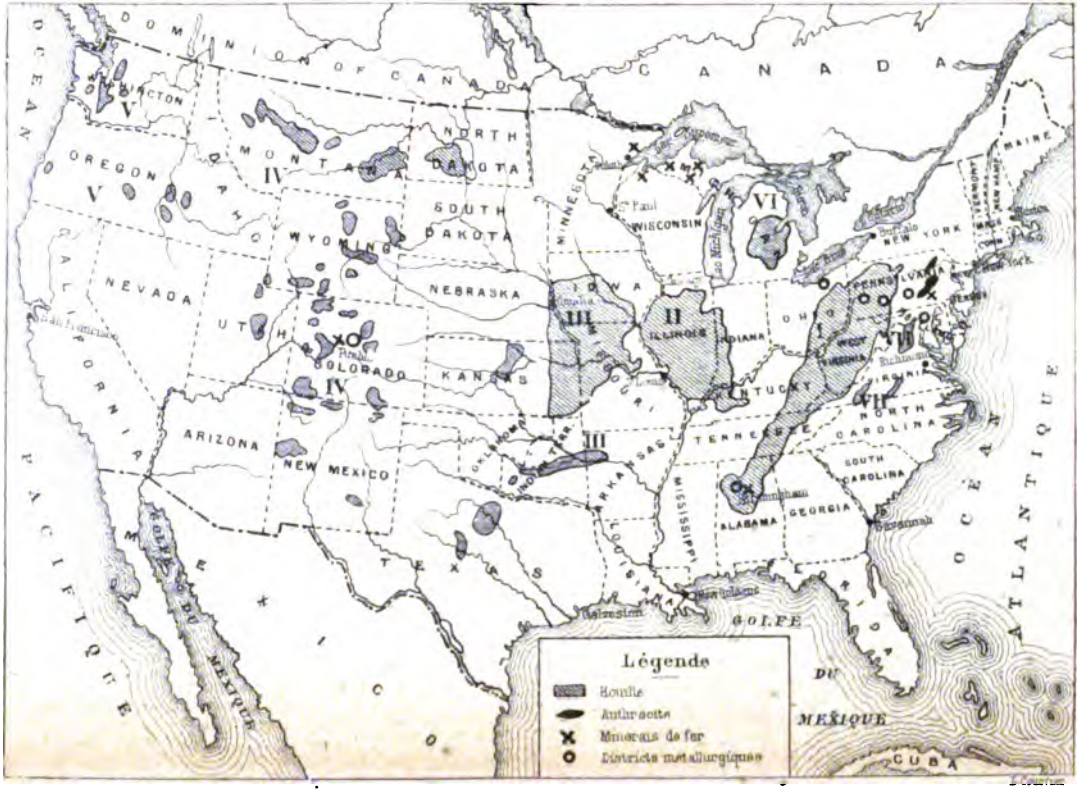

DOMINION OF CANADA
C A N A D A
OCÉAN PACIFIQUE
OCÉAN ATLANTIQUE
GOLFE DU MEXIQUE
M E X I C O
OREGON
NEVADA
UTAH
COLORADO
ARIZONA
NEW MEXICO
WYOMING
NEBRASKA
KANSAS
NORTH DAKOTA
SOUTH DAKOTA
MONTANA
IOWA
ILLINOIS
WISCONSIN
MINNESOTA
MISSOURI
ARKANSAS
LOUISIANE
TEXAS
KENTUCKY
TENNESSEE
MISSISSIPI
ALABAMA
GEORGIA
SOUTH CAROLINA
NORTH CAROLINA
VIRGINIA
OHIO
INDIANA
PENNSYLVANIA
NEW YORK
MAINE
CUBA
Légende
Houille
Anthracite
Minerais de fer
Districts métallurgiques

TABLEAU II. — **Bassins houillers des États-Unis. Superficie et production 1898-1902.**

BASSINS (Le chiffre romain correspond à la figure I).		ÉTENDUE	1898	1899	1900	1901	1902
Anthracite.		km²	t	t	t	t	t
Pensylvanie		1 238	48 471 461	54 859 550	51 060 065	61 264 273	37 567 224
Colorado et New Mexico . .		41	42 762	87 345	89 330	60 717	85 294
TOTAL.		1 299	48 514 223	54 946 895	51 149 415	61 324 990	37 652 518
Houille.							
Appalachian	I	184 098	103 790 148	117 888 263	129 146 769	136 667 098	157 335 580
Central	II	150 800	23 441 720	30 128 571	32 105 212	34 005 390	41 888 784
Western	III	244 596	13 640 553	13 910 624	15 944 967	17 856 712	12 820 554
Rocky Mountain . . .	IV	307 086	9 119 765	10 850 109	12 169 840	12 794 045	14 663 783
Pacific Coast	V	2 730	1 911 014	2 068 276	2 456 923	2 542 041	2 573 323
Northern.	VI	29 380	285 675	567 234	775 323	1 127 046	875 963
Triassic	VII	2 782	35 355	25 744	54 400	10 896	35 599
TOTAL.		921 472	152 224 230	175 438 821	192 653 434	205 003 228	230 193 586

Connelsville. De petits hauts fourneaux emploient encore de l'anthracite surtout en en mélangeant une certaine proportion au coke, mais d'une façon générale, tout l'anthracite en gros morceaux est employé à des usages domestiques et la presque totalité des fines brûlée dans des chaudières. Par suite de ces usages, les prix en sont beaucoup trop élevés pour qu'un emploi de quelque importance puisse être fait par l'industrie sidérurgique.

Tableau III. — Nombre de hauts fourneaux à feu et production en 1901-1902 suivant nature du combustible.

COMBUSTIBLE	1901		1902	
	PRODUCTION	hauts fourneaux à feu	PRODUCTION	hauts fourneaux à feu
	t		t	
Coke	14 002 904	188	16 576 945	222
Anthracite et coke	1 695 508	54	1 113 576	52
Anthracite seul	44 418		19 514	
Charbon de bois	565 909	24	384 560	33
Charbon de bois et coke	23 666		11 851	
Totaux	16 132 405	266	18 106 446	307

Le tableau III donne la production de fonte et le nombre de hauts fourneaux à feu suivant la nature du combustible employé en 1901 et 1002.

Coke.

Les trois états de Pennsylvania, Alabama et West Virginia produisent les 6/7 du coke utilisé par l'industrie sidérurgique *(tableau IV)*.

Au point de vue sidérurgique, le district de Connelsville, en Pensylvanie, a une influence nettement prépondérante sur tout le marché américain. La qualité du coke n'est égalée dans aucun autre district. Le tonnage produit a atteint en 1902, 9 500 000 t.

Le prix de la tonne à la mine varie considérablement avec la situation des districts *(tableau IV)* et pour un même district d'une année à la suivante. Dans le district de Connelsville, de 1894 à 1902, le prix de la tonne à la mine a passé par de nombreuses fluctuations depuis 6,40 f jusqu'à 13 f.

ÉTATS OU TERRITOIRES	ÉTABLISSEMENTS	FOURS construits	FOURS en construction	HOUILLE TRAITÉE	RENDEMENT en coke	COKE PRODUIT	VALEUR TOTALE	VALEUR PAR TONNE
				t	0/0	t	f	f
Pennsylvania .	196	36 609	2 332	22 636 337	65,9	14 981 103	199 949 951	13,35
Alabama . . .	37	7 571	1 334	3 843 551	60,2	2 315 497	42 164 357	18,20
West Virginia .	120	12 656	2 341	3 614 351	61,7	2 284 984	30 332 772	13,30
Colorado . . .	15	3 010	363	1 537 874	59,2	910 278	14 322 573	15,75
Virginia. . . .	14	2 974	1 208	1 596 854	65,5	1 020 211	12 075 585	11,85
Tennessee. . .	15	2 269	116	930 663	54,6	508 037	8 204 613	16,15
Kentucky . . .	7	485	12	240 517	47,8	115 104	1 652 950	14,35
Ohio	9	449	60	199 040	66,6	132 561	2 562 523	19,35
Georgia. . . .	2	492	38	117 611	63,3	74 448	1 554 607	20,85
Indian Territory	4	280	»	100 639	44,6	44 862	1 056 189	23,55
Montana . . .	3	410	»	99 382	53,7	48 501	1 876 820	38,70
Washington . .	5	231	»	62 184	58,8	36 564	1 035 814	28,35
New Mexico. .	2	126	»	37 143	56,9	21 134	385 065	18,20
Kansas	10	97	12	32 502	58,3	18 962	284 450	15 »
Missouri. . . .	2	8	»	9 462	55,4	5 243	75 140	14,30
Illinois	3	149	»					
Indiana. . . .	1	50	»					
Massachusetts .	1	400	»					
Michigan . . .	2	75	60					
New-York . . .	2	30	574	773 820	70,2	543 293	10 732 248	19,75
Wisconsin. . .	1	120	108					
Wyoming. . .	1	74	»					
Maryland . . .	1	»	200					
New-Jersey . .	1	100	»					
Utah	2	404	»					
TOTAUX. . .	456	69 069	8 758	35 822 930	64,1	23 060 782	328 265 657	14,25

Les minerais de fer.

Jusqu'en 1860, les États-Unis étaient largement tributaires d'Europe au point de vue de leurs approvisionnements en minerais de fer. La majeure partie était importée d'Espagne et d'Angleterre; une quantité moindre de Cuba et d'Algérie.

Actuellement, grâce surtout au développement rapide du bassin minier du Lac Supérieur, l'indépendance des États-Unis au point de vue minerais de fer est à peu près complète.

De 1896 à 1902, les importations de minerai se sont élevées de 700 000 t à 1 200 000 t. La plus grande partie est importée de Cuba (700 000 t), du Canada (200 000 t) et d'Espagne (150 000 t) aux usines se trouvant près de la côte Atlantique. Les exportations sont insignifiantes; elles n'atteignent pas 100 000 t.

Le tableau V donne par État le tonnage et la valeur des minerais extraits en 1902.

Le bassin prédominant nettement est celui du Lac Supérieur. Sa production est actuellement les trois quarts environ de la production totale des États-Unis. Nous allons étudier, avec quelque détail, les plus importants de ces bassins miniers.

Bassin minier de Pensylvanie.

Les dépôts les plus importants sont ceux de Cornwall, près Lebanon. Dès 1732, ces dépôts étaient exploités; depuis 1894, la Pennsylvania Steel Co, de Steelton, en possède environ les trois quarts.

La production totale de ces bassins jusqu'en 1900 a été de 14 millions de tonnes; la production actuelle est d'environ 750 000 t.

Les minerais sont de la magnétite non phosphoreuse, mais très argileuse, et contenant une très forte teneur en sulfure de cuivre. Ils donneraient des fontes à 0,6 0/0 de cuivre et 2-2,5 0/0 de S. On doit effectuer un grillage préalable dans des kilns; le combustible primitivement employé était de l'anthracite; actuellement, on utilise des gaz de haut fourneau.

En vue de l'élimination du S, ces minerais exigent une allure très chaude; il en résulte des fontes très siliceuses (3-4 0/0). Elles ne sont guère utilisables que comme fontes de moulage et comme fontes de mélange pour le Bessemer et le Martin acides.

TABLEAU V. — Production totale de minerais aux Etats-Unis en 1902, par États, suivant nature.

ÉTATS OU TERRITOIRES	HÉMATITE ROUGE	HÉMATITE BRUNE	MAGNÉTITE	CARBONATE	TOTAL	VALEUR A LA MINE	PRIX DE LA TONNE
	t	t	t	t	t	f	t
Minnesota	15 383 869	»	»	»	15 383 869	124 743 980	8,17
Michigan	11 260 389	»	56 988	»	11 260 377	138 818 470	12,25
Alabama	2 606 685	1 024 980	»	»	3 631 665	20 481 420	5,65
Virginia et West Virginia	32 185	968 377	3 203	»	1 003 765	8 670 770	8,65
Tennessee	376 563	511 961	»	»	888 534	5 842 340	6,60
Pennsylvania	20 768	188 819	626 509	»	836 096	6 372 355	7,65
Wisconsin	762 449	26 090	»	»	788 539	9 364 490	11,75
New-York	92 532	12 878	458 795	»	564 205	7 087 530	12,60
New-Jersey	»	»	448 948	»	448 948	6 389 050	14,20
Georgia et North Carolina	119 696	219 701	31 329	»	370 726	2 628 555	7,10
Montana, New-Mexico, Utah et Wyoming	259 353	18 368	90 104	»	367 825	2 571 645	7,00
Colorado	4 445	293 544	»	»	297 989	5 366 675	18,00
Kentucky	42 870	29 271	»	»	72 141	448 080	6,20
Missouri	58 863	8 504	»	»	67 367	553 170	8,35
Connecticut, Massachusetts et Vermont	»	29 558	»	»	29 558	423 145	14,30
Maryland	»	19 692	»	5 064	24 756	243 935	9,85
Ohio	»	»	»	23 019	23 019	218 275	9,50
Texas	»	6 620	»	»	6 620	33 455	5,00
TOTAUX	31 012 660	3 358 363	1 715 876	28 083	36 114 982	320 257 340	8,90

Bassin minier d'Alabama.

Les minerais de l'Alabama sont phosphoreux; ils donnent une fonte renfermant 0,2 à 0,8 0/0 de phosphore; en moyenne 0,75 0/0.

Ce sont soit des limonites argileuses, qui doivent être lavées et contiennent en moyenne :

Fe	51,00 0/0
SiO^2	9,00 0/0
Al^2O^3	3,75 0/0
CaO	0,75 0/0
P.	0,40 0/0
S.	0,10 0/0

soit des hématites.

Aux affleurements les hématites sont tendres et non calcareuses; en profondeur, elles sont dures et calcareuses.

Le fondant employé est dolomitique.

Bassin minier du Colorado.

Nous comprendrons dans ce bassin toutes les mines alimentant le district métallurgique de Pueblo. Ce sont :

Les mines de Sunrise (en Visconsin) à 560 km de Pueblo, amas énorme d'hématite rouge contenant 62 0/0 de fer et exploité à la pelle à vapeur;

Les mines de Fierro (New-Mexico) à 960 km de Pueblo. Ces minerais sont des hématites compactes à 61 0/0 de fer;

Les mines d'Orient (Colorado) à 200 km de Pueblo exploitant des limonites facilement réductibles à 50 0/0 de fer.

Tous ces minerais sont de la qualité « Bessemer ». A Leadville (160 km de Pueblo) et dans l'Utah (640 km de Pueblo) on trouve des minerais à 50 0/0 de Mn traités pour Spiegel et ferro-Mn à Pueblo.

Il existe encore aux États-Unis de nombreuses mines locales tendant d'ailleurs de plus en plus à disparaître à mesure que le prix de revient des minerais du bassin du lac Supérieur va en diminuant. Nous signalerons seulement celles du lac Champlain et des bords de l'Hudson. Ce sont des dépôts de magnétite qui

alimentaient l'usine de Troy, aujourd'hui disparue, mais qui fut au début du Bessemer la plus importante des aciéries américaines. Ces magnétites très pures contiennent une grande proportion de titane et c'est là la cause de leur dépréciation. Un français, M. Rossi, de New-York, étudie avec succès depuis quelques années la question de la fusibilité des laitiers titanifères précisément dans le but de rendre une importance à ce district minier.

Bassin minier du lac Supérieur.

Le bassin minier du lac Supérieur empiète sur les trois états de Michigan, Wisconsin et Minnesota et comprend cinq principaux districts : Marquette, Menominee, Gogebic, Vermilion et Mesabi. Un sixième district fut découvert en 1900, au Canada. On y a extrait, jusqu'à la fin de 1902, environ 600 000 t dont la plus grande partie a été expédiée aux États-Unis par le port de Michipicoteu, province d'Ontario *(fig. 2)*.

Tous ces districts forment une bande de 160 km de large contournant les bords du lac Supérieur. Ce lac a une longueur de 640 km sur une largeur maxima de 320 km ; son niveau est de 186 m au-dessus du niveau de la mer. Le pays minier est très accidenté ; il est formé de collines ayant de 100 à 300 m au-dessus du niveau du lac.

La distance des ports d'embarquement sur le lac Supérieur aux ports de débarquement du lac Érié, varie de 800 à 1 500 km *(fig. 3)*. Ces minerais, pour atteindre les usines, doivent encore parcourir par rail jusqu'à 500 et 600 km dans certains cas. Si l'on ajoute à ces chiffres que la navigation sur les lacs est interrompue par les glaces près de six mois par an, qu'au moment de la découverte du bassin les méthodes de transport faisaient complètement défaut, on aura les raisons des lenteurs initiales de la mise en exploitation.

Historique.

La présence de minerai de fer dans le district de Marquette fut signalée pour la première fois en 1844, par W. A. Burt qui étudiait officiellement la géologie du district sous la direction du docteur Douglas Houghton. Dès 1845, la « Jackson Iron C° » commença l'exploitation ; en 1856, la totalité du minerai expédié n'atteignait pas 5 000 t. Le minerai était traité par de petites

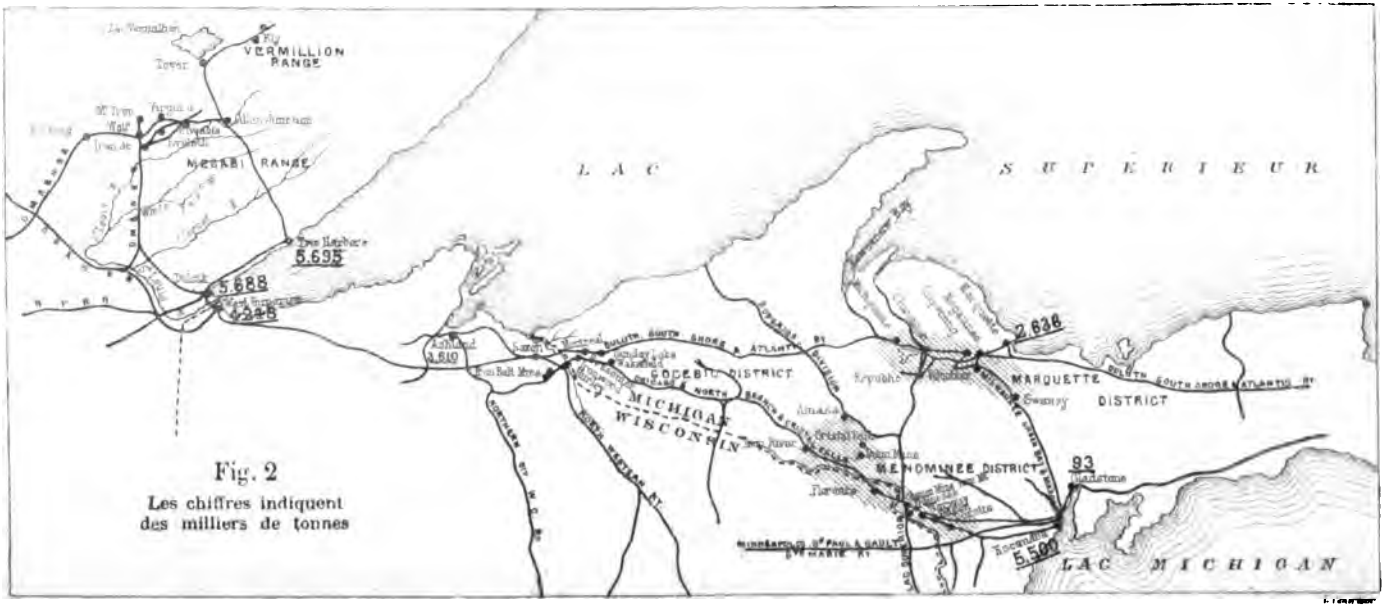
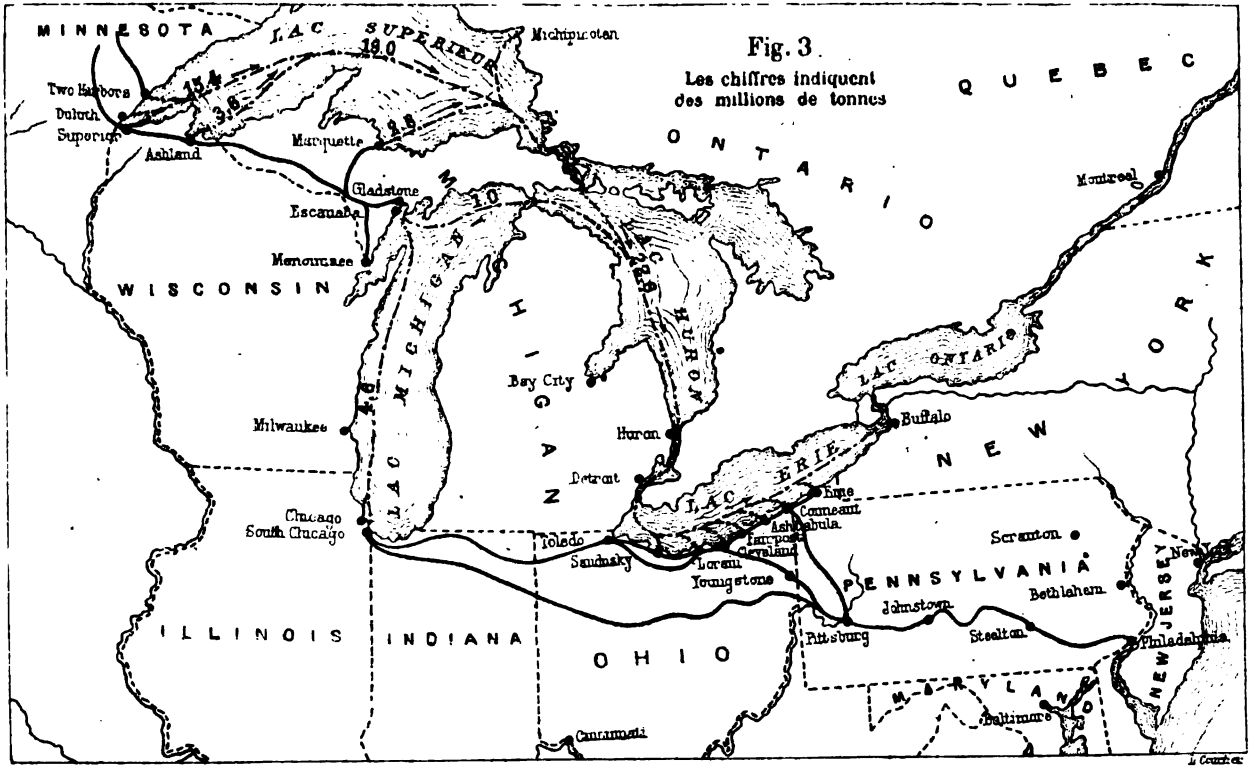


Fig. 2

Les chiffres indiquent des milliers de tonnes


MINNESOTA
LAC SUPERIEUR
Michipicoten
19.0
Two Harbors
Duluth
Superior
15.4
3.6
Ashland
Marquette
3.9
Gladstone
Escanaba
Menominee
WISCONSIN
MICHIGAN
LAC MICHIGAN
10
LAC HURON
Bay City
Milwaukee
Huron
Detroit
LAC ERIE
Chicago
South Chicago
Toledo
Sandusky
Lorain
Youngstown
Conneaut
Ashtabula
Fairport
Cleveland
ILLINOIS
INDIANA
OHIO
Cincinnati
ONTARIO
QUEBEC
Montreal
LAC ONTARIO
Buffalo
NEW YORK
Erie
Scranton
PENNSYLVANIA
Bethlehem
Johnstown
Pittsburg
Steelton
NEW JERSEY
Philadelphia
MARYLAND
Baltimore
Fig. 3.
Les chiffres indiquent
des millions de tonnes

forges locales. Ce n'est qu'en 1855 que fut terminée la première écluse du Sault-Sainte-Marie et, en 1857, la première voie ferrée permettant de relier les mines au port d'embarquement.

Dès 1848, le minerai de fer fut signalé dans le district de Menominee, par J. W. Forster et S. W. Hill; ce n'est qu'en 1872 que des recherches de quelque importance furent entreprises par le docteur Hulst pour « The Milwaukee Iron C° ». Les droits de priorité furent rachetés à cette Société en 1877, par « The Menominee Iron C° » La première expédition de minerai fut faite à Escanaba, en 1880.

En cette même année de 1848, le docteur Randall, assistant du docteur Ovens, qui étudiait officiellement la géologie de l'État de Wisconsin, découvrait le minerai de fer dans le district de Gogebic; en 1852, le docteur Ovens trouvait une couche d'hématite brune de 270 m d'épaisseur. Cependant les premiers envois de minerai ne furent faits qu'en 1880, par le capitaine N. D. Moore, du port de Milwaukee, à destination d'Erie.

En 1866, H. H. Eames, géologue de l'État de Minnèsota, trouvait un dépôt de magnétite et d'hématite rouge dans le district de Vermilion. L'exploitation commença dès 1875, mais elle ne prit quelque importance qu'en 1884, quand le chemin de fer « Duluth and Iron range Railway » fut terminé.

Ce ne fut qu'en 1891, que MM. Merrit frères, de Duluth, commencèrent des travaux d'exploitation dans le district de Mesabi. En 1892, la mise en exploitation d'une voie ferrée en permit l'expédition par Duluth et Two Harbors (1).

Le tableau statistique annexé VI donne la production par districts de tout le bassin minier du lac Supérieur jusqu'en 1904.

Nature du minerai.

Les minerais extraits sont de deux qualités dites « Bessemer » ou « non-Bessemer », suivant que leur teneur en phosphore est inférieure ou supérieure à 0,045 0/0. Ils sont, en général, très riches en fer — de 40 à 62 0/0. — Le tableau statistique VII donne les analyses moyennes des minerais expédiés sur les grands lacs, en 1903.

(1) Cependant la découverte du minerai de fer y avait été faite par J. G. Norwood, dès 1850. Une description des gisements avec analyses en montrant l'excellente qualité, avait même été faite en 1866 par Eames. Leur nature généralement poussiéreuse les avait fait considérer comme n'ayant aucune valeur.

TABLEAU VI. — **Production de minerais de fer des districts miniers du lac Supérieur jusqu'en 1904.**

DATES	DISTRICTS					TOTAL
	MARQUETTE	MENOMINEE	GOGEBIC	VERMILION	MESABI	
	t	t	t	t	t	t
Jusqu'en 1888.	25 603 752	7 675 668	2 232 146	1 002 036	»	36 513 602
1888.	1 954 358	1 310 143	1 459 895	520 143	»	5 244 539
1889.	2 896 739	1 824 266	2 040 512	858 196	»	7 619 713
1890.	3 042 099	2 318 887	2 893 373	894 094	»	9 148 453
1891.	2 548 415	1 839 339	1 868 993	908 870	»	7 185 617
1892.	2 707 981	2 298 529	3 019 530	1 186 331	4 312	9 216 183
1893.	1 866 907	2 227 145	1 358 676	833 749	623 475	6 909 952
1894.	2 092 269	1 158 052	1 838 308	964 688	1 821 736	7 875 063
1895.	2 127 335	1 953 298	2 584 685	1 095 082	2 826 085	1 068 485
1896.	2 645 888	1 585 427	1 828 759	1 125 218	2 935 853	10 121 145
1897.	2 760 900	1 967 995	2 294 456	1 298 935	4 344 202	12 666 488
1898.	3 175 133	2 572 715	2 438 625	1 285 382	4 344 267	13 816 122
1899.	3 817 102	3 353 966	2 930 569	1 794 843	6 732 398	18 633 878
1900.	3 512 394	3 352 865	2 910 193	1 682 310	7 935 172	19 392 936
1901.	3 297 263	3 677 939	2 985 152	1 814 638	8 648 838	20 423 830
1902.	3 929 906	4 564 903	3 731 762	2 117 577	13 341 574	27 685 722
1903.	3 088 887	3 696 629	3 027 825	1 703 522	13 097 491	24 614 454
1904.	2 899 186	3 333 852	2 436 657	1 301 029	12 325 733	22 296 467
TOTAUX . .	73 966 514	50 731 628	43 880 118	22 391 743	78 981 136	269 951 139

TABLEAU VII.

Compositions moyennes des minerais du lac Supérieur.

DISTRICTS	DATE de la mise en exploitation	FER	PHOSPHORE	SOUFRE	SILICE	CARBONATE de CHAUX	EAU
Marquette	1855	60 à 67	0,02 à 0,15	0,02	2 à 6	0,5	1,12
Menominee . . .	1877	56 à 62	0,01 à 0,75	0,01	3 à 6	1,0	5,10
Gogebic	1884	58 à 62	0,04 à 0,08	0,01	3 à 7	0,3	10,12
Vermilion	1884	61 à 67	0,04 à 0,15	tr.	3 à 5	0,4	1,6
Mesabi.	1892	61 à 64	0,03 à 0,08	0,01	3 à 5	0,5	8,12

Dans le district de Marquette, le minerai est de la magnétite et de l'hématite; 50 0/0 du minerai est de qualité « Bessemer ». Dans le district de Gogebic, ce sont en majeure partie des hématites brunes avec une faible proportion d'hématites rouges. Le minerai est poreux, facilement réductible; 90 0/0 est de qualité « Bessemer ». Le minerai de Menominee est toujours de l'hématite poreuse; la teneur en fer est moindre, celle en phosphore est plus élevée que dans le district de Gogebic, mais les teneurs en SiO^2, chaux et alumine y sont telles qu'il ne nécessite que peu ou point de fondant. Les minerais du district de Vermilion sont des hématites très riches et compactes; les plus tendres sont de la qualité « Bessemer ». Les hématites du district de Mesabi sont pulvérulentes; leur introduction dans un lit de fusion est limitée, par ce fait, à environ 40 0/0.

Il est nécessaire de remarquer que la proportion de minerai « Bessemer » décroît chaque année; les fontes obtenues avec les minerais « non-Bessemer » étant particulièrement appropriées au traitement sur sole basique, on a là une des causes principales de l'extension rapide du procédé Martin aux U. S. A.

L'échantillonnage et l'achat des minerais sont faits systématiquement. Le minerai est analysé à la mine, au port d'expédition et au port de réception. L'essai à la mine est fait en double sur des échantillons moyens prélevés sur place et dans les wagons de transport.

On dose surtout le fer, le phosphore et l'humidité. Les prix sont cotés d'après le prix d'un minerai type contenant :

Fer, 63 0/0; Phosphore, 0,045 0/0; Humidité, 10 0/0.

Ces prix ont, d'ailleurs, des fluctuations considérables ; en 1898, les prix avoisinaient la normale et étaient, aux ports du lac Érié :

Minerais Bessemer (excepté Mesabi). .	14 f	la tonne.
— Mesabi	11 f	—
Minerais « non-Bessemer » Mesabi. . .	9 f	—

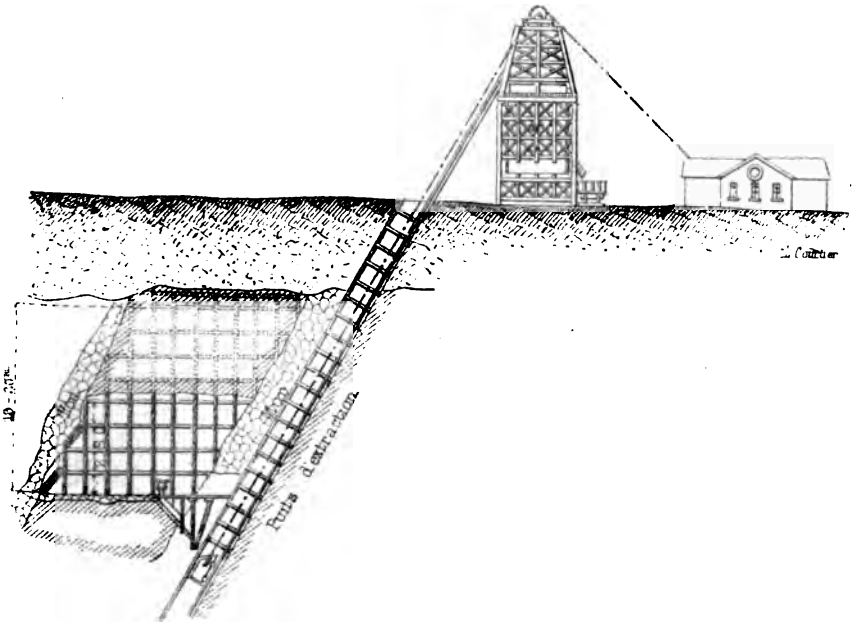
En 1900, ces prix avaient plus que doublé et étaient respectivement de 28 f, 23 f et 20,50 f la tonne.

Méthodes d'exploitation.

Les conditions toutes spéciales du bassin du lac Supérieur ont permis d'y adopter des méthodes très différentes de celles généralement usitées en Europe. Nous étudierons les principales avec quelque détail.

Méthode dite « overhead stoping ». Cette méthode est surtout applicable aux couches plongeant régulièrement (fig. 4). On fore

Fig. 4 - MÉTHODE " OVERHEAD STOPING "

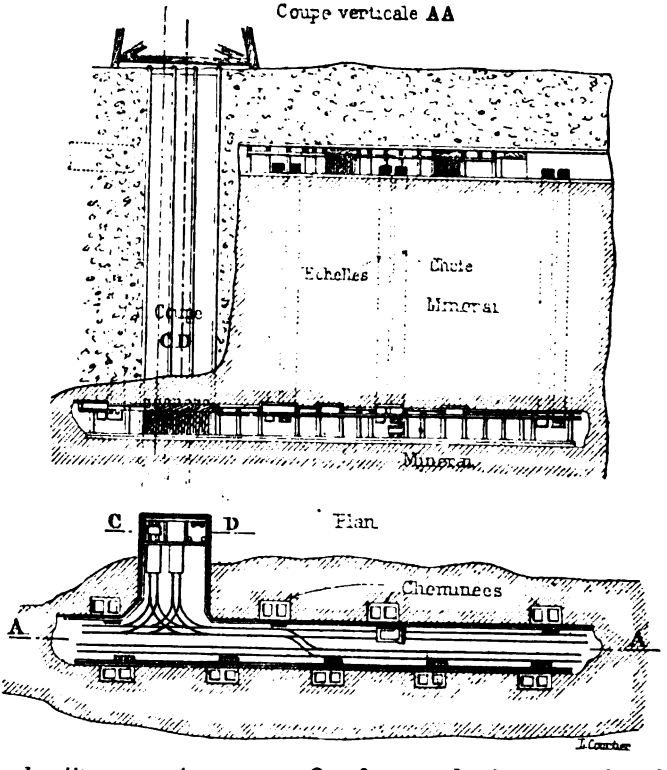


un puits incliné, généralement le long du mur de la couche. A 20 m du sommet du gîte, on trace une galerie longitudinale

recoupée tous les 7-8 m par des travers-bancs. On a aussi tracé des blocs ayant 20 m de haut, la largeur du dépôt et 7-8 m de long. On les dépile de deux en deux en remontant ; on boise ou on remblaie au fur et à mesure. Les piliers ainsi laissés sont ensuite exploités par la deuxième méthode que nous examinerons. Dans le cas du boisage on fait préalablement écrouler le toit en se servant de cartouches de dynamites. On procède ainsi successivement par couches de 20 m de hauteur.

L'extraction proprement dite se fait au moyen de bennes à galets roulant sur la voie inclinée établie dans le puits et se déversant automatiquement dans des cases établies au jour d'une manière analogue à celle du chargement des hauts fourneaux et que nous examinerons ultérieurement.

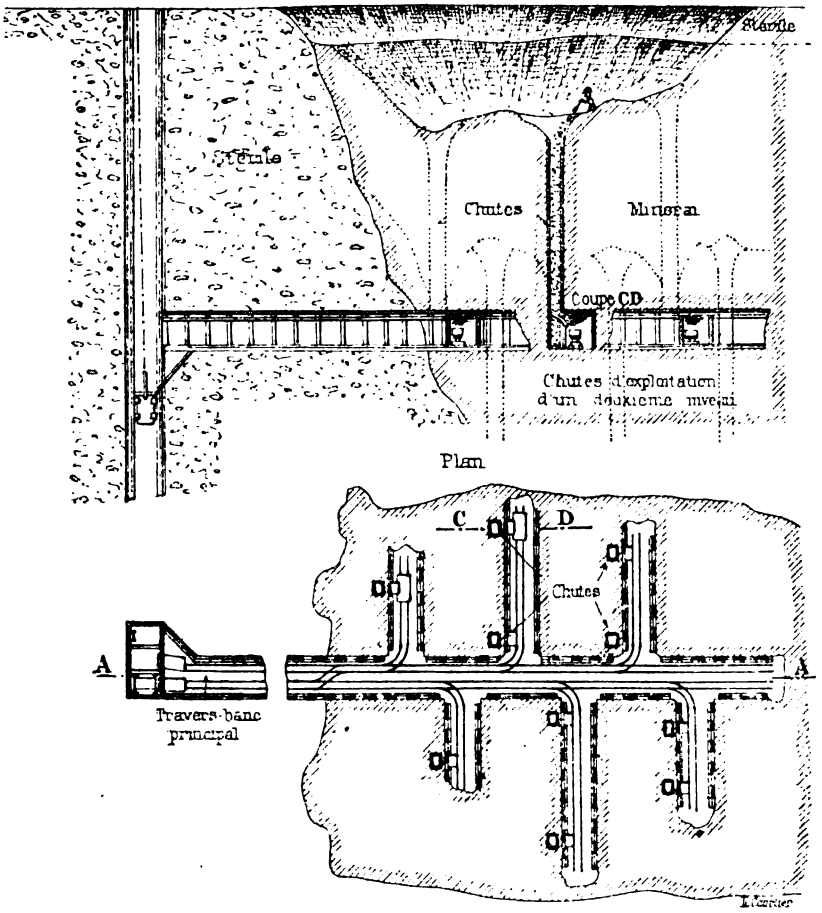
Fig. 5 - MÉTHODE " CAVING "



Méthode dite « caving ». — On fonce plusieurs puits dans la roche immédiatement voisine du dépôt (fig. 5) et on réunit ces puits au centre du gîte par des travers-bancs principaux. Au centre de la couche, une galerie longitudinale les met en communi-

Fig. 6 - MÈTHODE " MILLING "

Coupe verticale **AA**



cation. De chaque côté de cette galerie, espacées de 7 à 8 m, on élève des cheminées rectangulaires de 2,10 m × 1 m environ jusqu'à 2,10 m environ du sommet du gite. On réunit alors le sommet de toutes les cheminées par une galerie longitudinale d'exploitation et d'aération.

On exploite alors cette tranche de 2,10 m en supportant le toit par des étais rudimentaires. Les cheminées sont cloisonnées ; un compartiment contient les échelles, le deuxième est un couloir de chute. Le minerai tombe directement dans des wagonnets à l'étage inférieur.

Lorsque l'exploitation de la première tranche de 2,10 m est terminée, on forme sur le sol un quadrillage de bois qui constituera un toit pour la tranche immédiatement inférieure et l'on fait sauter tout l'étayage à la dynamite.

On continue ainsi par tranches de 2,10 m et étages de 20 m environ. Cette méthode se répand de plus en plus, remplaçant la précédente toutes les fois que l'une des deux méthodes suivantes n'est pas applicable. Le boisage n'est en moyenne que de 0,20 f-0,25 f par tonne de minerai ; la méthode précédente grève la tonne de minerai de plus du double en même temps que la sécurité des ouvriers est moins grande.

Il y a lieu de remarquer que toutes ces méthodes ne tiennent aucun compte des affaissements en résultant pour le terrain superficiel.

Méthode dite « Milling ». (fig. 2, Pl. 122). — C'est une variante de la méthode précédente lorsque le dépôt est rencontré à une très faible profondeur *(fig. 6)*. On enlève alors tout le terrain inutile recouvrant le minerai. L'exploitation se fait à ciel ouvert et le minerai est envoyé par les cheminées jusqu'à l'étage inférieur d'où on le remonte. On procède par étages successifs d'une vingtaine de mètres.

Dans toutes ces méthodes, l'emploi des perforatrices électriques est général (General Electric C°) ; des locomotives électriques assurent également le halage.

Méthode dite par « steam shovelling » (pelles à vapeur) (fig. 3 et 4, Pl. 122). — C'est la méthode la plus économique ; elle n'est appliquée que là où le minerai est suffisamment pulvérulent. (District de Mesabi). Elle consiste dans l'emploi des pelles à vapeur chargeant directement les wagons de transport.

Une pelle à vapeur peut prendre, par minute, 4 pelletées de 4 à 6 t. La production moyenne est de 5 000 à 6 000 t par jour, soit 200 à 250 wagons de 25 t, ce qui représente une journée de neuf heures de travail de 75 à 100 hommes. Le poids total d'une pelle est de 90 à 100 tonnes ; la consommation horaire de houille est de 200 kg; une équipe de 3-4 hommes suffit à diriger toutes les opérations ; le prix en est d'environ 50 000 f.

L'exploitation se fait par couches horizontales d'environ 6 m de hauteur. Le gîte est découvert par le même procédé. Afin de faciliter la pénétration de la pelle dans le terrain, on y fore des trous de mine de 28 à 30 mm de diamètre et de 15-20 m de longueur dans lesquels on fait exploser de 1 kg à 4 kg de poudre noire.

Deux voies sont établies parallèlement à la ligne d'attaque du terrain. Sur la plus rapprochée du front d'attaque circule la pelle à vapeur; sur la plus éloignée un train de wagons en chargement.

Cette dernière méthode permet d'extraire et de charger le minerai en wagon, à moins de 1 f par tonne ; avec les trois précédentes méthodes, le coût de la tonne chargée sur wagon aux mines s'élève jusqu'à 5 f; il est intéressant de comparer au prix de 1860 qui était de 15 à 20 f.

Méthodes de transport.

La production totale du minerai extrait dans le bassin minier du lac Supérieur est expédiée sur les grands lacs vers les ports du lac Erie ou du lac Michigan ; à peine 300 000 t sont traitées sur place dans des hauts fourneaux au bois.

Les principaux ports d'expédition sont donnés ci-dessous par district *(fig. 2)*.

DISTRICTS	PORTS D'EXPÉDITION	DISTANCE DES MINES AUX PORTS
Vermilion	Two Harbors.	115 à 155 km.
Mesabi	Duluth. - Two Harbors. - West Superior	125 à 160
Menominee	Escanaba. — Gladstone.	65 à 150
Gogebic	Ashland.	65 à 85
Marquette	Marquette. — Escanaba.	Près des mines, à 80 km.

Quant à Marquette, bien que les mines soit près du lac, on a intérêt à diriger les minerais destinés à Chicago par rail jusqu'à Escanaba sur le lac Michigan; on réduit ainsi très fortement la distance par eau; le prix de transport, par bateau, est diminué de 1,85 f par tonne.

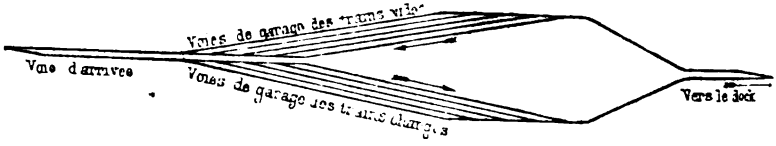
Le transport des mines aux ports d'expédition s'effectue par voie ferrée. La première fut établie à Marquete dès 1857. Antérieurement le transport était fait par convois de mules.

La capacité des wagons était, en 1860, de 6 t; elle atteint actuellement, jusqu'à 50 t. Ces wagons sont chargés soit par trémies, soit par pelles à vapeur.

Les trains formés comprenent de 40 à 50 wagons. Le prix de transport jusqu'aux docks est très faible : il est de 1,65 f la tonne, de Marquette à Escanaba; de 2,50 f, de Menominee à Escanaba; de 3,75 f, de Mesabi à Two Harbors ou Duluth.

Les docks *(fig. 5 à 7, Pl. 122)* sont d'immenses jetées en bois

Fig. 7



s'avançant dans le lac, contre lesquels viennent les bateaux en chargement. Chaque jetée possède généralement quatre voies, d'une extrémité à l'autre. La surface de pose des rails est complètement ajourée et le minerai tombe directement du wagon dans les cases des docks. Ces cases renferment de 150 à 175 t de minerai, elles sont espacées d'axe en axe de 3,75 m, distance qui correspond exactement à la moitié de l'entr'axe des compartiments des vaisseaux transporteurs. Chaque vaisseau possède 12 à 14 compartiments. On y peut charger immédiatement 2000 t de minerai; puis par un déplacement de 3,75 m on peut doubler ce chargement. On déplace alors le vaisseau jusqu'à une autre partie du dock. Les wagons eux-mêmes ont la même longueur qu'un compartiment du vaisseau, de sorte que, par l'intermédiaire des cases et de leurs coulottes, les trains peuvent être déchargés directement dans les vaisseaux.

La bonne utilisation des docks dépend de la rapidité de l'amenée et du départ des trains. Des voies de garage sont dis-

posées suivant le schéma ci-contre (*fig.* 7), chaque diagonale pouvant contenir un train de 50 wagons (400 m).

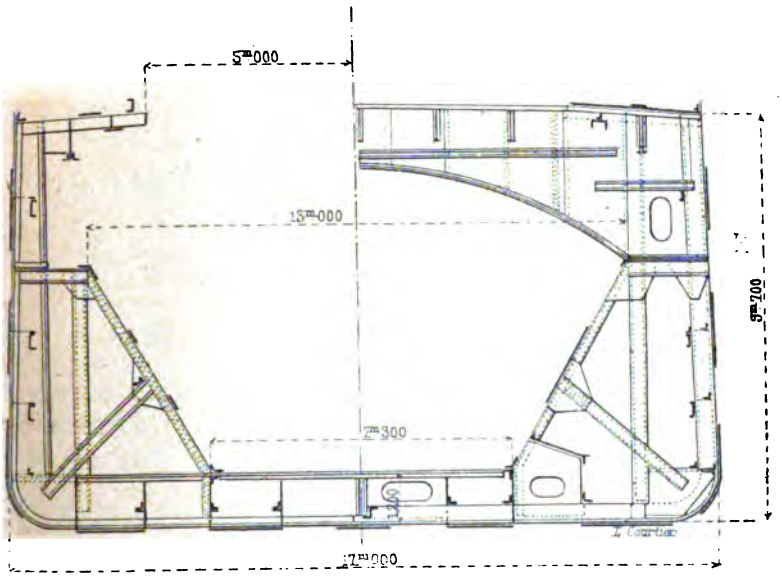
A Duluth, deux docks-jetées, de 600 m de longuenr, ont une capacité de 100 000 t et peuvent recevoir simultanément 20 vaisseaux, en quatre rangées de part et d'autre des deux docks.

La capacité des docks, existant actuellement aux divers ports, dépasse 1 million de tonnes.

Les vaisseaux transporteurs sont de deux types :

Le type commun : vaisseau bas ponté, possédant deux ponts surélevés, l'un à l'avant protégeant les cabines de l'équipage, et l'autre tout à l'arrière, la machinerie. Dans l'espace intermédiaire une suite ininterrompue de compartiments à minerais.

Fig. 8 - Coupe du transport "AUGUSTUS B. WOLWIN"



Les dimensions du transport de ce type *E. H. Gary* (12 200 t), lancé le 30 mai 1905, sont les suivantes :

Longueur entre perpendiculaires	m	173,50
— de quille		167,50
Largeur		17 »
Profondeur		9,50

Le second type dit « dos de baleine », de forme toute spéciale, fusiliforme *(fig. 8, Pl. 122)*, est beaucoup moins répandu. Il per-

met de prendre deux vaisseaux à la remorque, mais cette méthode a très peu de partisans. Par suite des violentes tempêtes, sévissant couramment sur les grands lacs, on était très souvent amené à abandonner les transporteurs remorqués.

Les vaisseaux transporteurs ont un tonnage de 6 000 à 12 500 t, leur tirant d'eau maximum est de 5,16 m.

Comme record, en août 1904, le steamer *Augustus B. Wolvic (fig. 8)* a chargé 12 250 t de minerai en trente-quatre minutes; la durée totale du chargement et de la manœuvre fut de une heure vingt-neuf minutes.

A l'exception du minerai expédié par Escanaba, tous les vaisseaux traversent les écluses du Sault Sainte-Marie. L'absence primordiale de ces écluses fut une des causes principales de la lenteur du développement initial du bassin. La différence de niveau entre le lac Supérieur et le lac Huron, est de 8,37 m. Ces écluses sont au nombre de trois dont les caractéristiques suivent:

Vieille écluse des États-Unis (1881) :

Longueur : 180 m ;

Largeur : Porte d'amont, 24,80 m ; Porte d'aval 18,60 m.

Nouvelle écluse des États-Unis :

Longueur : 248 m ;

Largeur : 31 m.

Écluse canadienne (1895) :

Longueur : 279 m :

Largeur : 18,60.

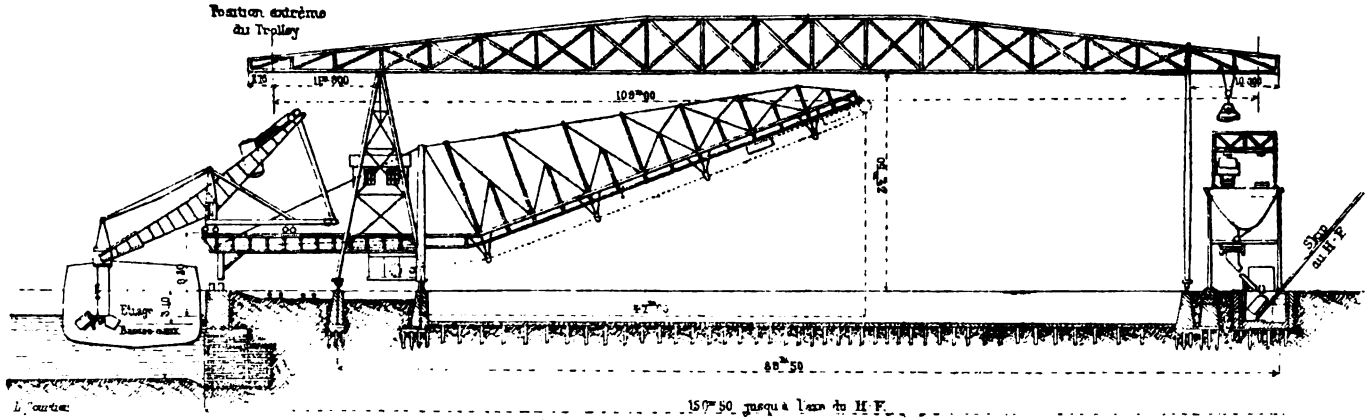
L'écluse canadienne construite de 1890 à 1895 a coûté 17 millions 500 000 f.

Le lac Huron traversé, on atteint, par le canal Saint-Clair, le lac Erie, sur la côte sud duquel sont les ports de déchargement: Buffalo, Erie, Ashtabula, Cleveland. La durée d'un voyage aller et retour est de dix à douze jours; certains vaisseaux arrivent à effectuer jusqu'à vingt voyages par an (6-7 mois).

La perfection et l'excellent agencement des moyens de transport indiqués ont permis, en vingt années, de réduire le fret de 15 f à 3 f par tonne.

En 1887, le fret était de 11,50 f par tonne de Duluth ou Two Harbor à Cleveland; dès 1890, il tombait à 4,50 f; en 1900, il

Fig. 9 - DÉCHARGEUR " HULETT " - LACKAWANNA STEEL Cº - BUFFALO



était de 6,20 f. Actuellement, sauf dans des périodes critiques passagères, le prix du fret est de 3 f - 4 f par tonne.

Ce minerai est tantôt mis immédiatement en wagons qui, formés en trains, sont entraînés vers les installations de hauts fourneaux distantes du lac; quelquefois d'immenses dépôts sont formés immédiatement au point de déchargement, ces dépôts ayant pour but d'aider à ceux faits aux usines en vue de suppléer à l'arrêt de la navigation pendant l'hiver; enfin certaines usines sont situées immédiatement au voisinage du lac, et les dépôts précédents constituent le parc même d'alimentation des hauts fourneaux *(fig. 9)*.

Le tableau VIII donne le mouvement des minerais, aux ports de déchargement du lac Erie, en 1902-1903.

TABLEAU VIII. — **Mouvement des minerais aux ports de déchargement du lac Erie en 1902-1903.**

PORTS	STOCK en mai 1902	MINERAI DÉCHARGÉ en 1902	STOCK en décembre 1902	STOCK en mai 1903
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Ashtabula (Ohio).	939 537	4 873 553	1 797 451	1 091 150
Cleveland (O.).	634 862	4 956 371	1 400 108	842 616
Conneaut (O.)	155 337	4 369 105	613 771	127 406
Buffalo et Tonawanda (N.-Y.).	75 042	2 292 906	201 269	61 204
Erié (Pa)	227 555	1 744 744	478 249	433 571
Fairport (O.)	483 882	1 562 363	721 959	564 600
Toledo (O.)	113 295	1 054 172	238 263	128 352
Lorain (O.)	98 543	1 465 495	198 996	193 355
Huron (O.)	131 709	528 976	235 205	150 182
Sandusky (O.).	37 998	168 204	48 142	57 404
TOTAL.	2 897 760	23 015 889	5 953 413	3 649 840

Le déchargement des vaisseaux transporteurs est toujours effectué par un certain nombre de pont roulants (6 à 12) servant de chemins de roulement à un chariot supportant la benne de déchargement. Ces ponts peuvent se déplacer sur des voies parallèles au quai, de façon à prendre la position nécessaire devant l'écoutille du vaisseau qu'ils ont à desservir.

Les bennes employées sont de deux types :

1° Les bennes construites par la « Brown Hoisting and Conveying machine C° » *(fig. 8, Pl. 122)*, sont des baquets à roulettes. Elles contiennent 1 t à 1,3 t de minerai. Elles doivent être remplies *manuellement* dans chaque écoutille. Quand douze écoutilles d'un vaisseau sont desservies par douze ponts, avec huit hommes dans chaque écoutille occupés au remplissage des bennes, on arrive à décharger 6 000 t en huit heures.

2° Ce sont des bennes à mâchoires prenant *automatiquement* le minerai.

La benne « Hoover et Mason » *(fig. 9, Pl. 122)* permet à un seul homme de décharger jusqu'à 250 t de minerai à l'heure, ce qui correspond au travail de cinq ponts Brown avec cinquante hommes. Une batterie de six de ces appareils peut décharger normalement 1 100 t à 1 200 t à l'heure.

La benne « Hulett » *(fig. 10, Pl. 122)*, construite par la « Wellman Seaver Morgan C°, a une capacité de 10 t. Six de ces appareils ont déchargé, en quatre heures et demie, 11 000 t de minerai du steamer *Augustus B. Wolvic.*

On conçoit l'influence considérable de ces moyens récents de déchargement sur la diminution des frais de transport, non seulement par la diminution des frais de déchargement, mais encore parce que la réduction du temps de déchargement augmente, dans une proportion fort appréciable et sans augmentation des frais généraux, le nombre des voyages annuels.

CENTRES SIDÉRURGIQUES *(fig. 1)*

Le tableau IX *(Pl. 124)* donne une idée immédiate de l'importance relative des principaux districts producteurs. Nous allons examiner avec détail quelques-uns des plus importants.

Pittsburgh.

C'est, de beaucoup, le plus important district sidérurgique. On comprend généralement dans ce district toutes les usines situées autour de Pittsburg dans un rectangle ayant 110 km de côté dans la direction N.-S. et 140 km dans la direction E.-O. Il empiète sur les trois États de Pennsylvania, Ohio et West-Virginia.

En 1901, la production détaillée de ce district fut :

	FONTE	ACIER
	tonnes	tonnes
Comté d'Allegheny	3 747 000	5 224 000
Vallée de Shenango	995 000	492 000
Comtés de Westmoreland, Fayette . .	117 000	155 000
Vallée de Mahonney.	1 428 000	
Ohio (Sud-Est)	535 000	1 567 000
West-Virginia	169 000	
TOTAL.	6 991 000	7 438 000

Le comté d'Allegheny qui entoure Pittsburgh ne suffit pas à produire la fonte qu'il convertit en acier; une grande partie lui est fournie par la vallée de Shenango et par tout le district avoisinant.

Ce seul comté d'Allegheny produisit en 1902, par rapport à la production totale des États-Unis, les proportions suivantes : 24 0/0 de la fonte, 34 0/0 des lingots Bessemer, 48 0/0 de l'acier Martin, 39 0/0 des aciers de toutes sortes, 25 0/0 des rails, 61 0/0 des profilés divers employés en construction et 32 0/0 de tous les produits laminés.

Deux causes principales ont contribué à la formation de ce district :

1° Le voisinage du bassin houiller connu sous le nom de district de Connelsville particulièrement favorable à la fabrication d'un excellent coke ;

2° La découverte, en 1884, d'immenses nappes souterraines de gaz naturel. Sitôt cette découverte, tous les établissements métallurgiques l'utilisèrent sans compter; cela dura une dizaine d'années, puis brusquement les couches souterraines immédiatement au-dessous de Pittsburgh donnèrent des signes d'épuisement; on commença à l'utiliser pour tous les usages domestiques, de chauffage et d'éclairage; on dut creuser des puits de plus en plus éloignés du centre et l'on prévoit déjà le moment où le prix en sera trop élevé pour qu'on puisse continuer à l'utiliser dans les établissements sidérurgiques. Deux chiffres montreront exactement le gaspillage auquel on se livra. En 1888, il fut consommé 21 milliards de mètres cubes pour un prix total

de 113 150 000 f, soit 0,005 f le mètre cube; en 1902 la consommation n'est plus que 6 milliards de mètres cubes pour un prix total de 150 300 000 f, soit 0,025 f le mètre cube; après quatorze ans, la consommation est 3,6 fois moindre, le prix du mètre cube a quintuplé.

Dans tout ce district, les usines sidérurgiques se trouvent dans des conditions similaires. Elles trouvent le combustible, houille et coke, sur place ou à très faible distance et elles doivent transporter leurs minerais. La presque totalité de ces minerais vient du district du lac Supérieur. Depuis le port de débarquement sur le lac Érié, jusqu'aux usines, de nombreuses voies ferrées absolument spéciales au transport des minerais ont été établies et appartiennent aux diverses usines sidérurgiques intéressées. Comme fret de retour, on effectue le transport de houille et de coke tant pour la région voisine des lacs que pour le district du lac Supérieur lui-même.

Pittsburgh, au confluent de l'Allegheny et de la Monongahela formant l'Ohio, est le centre d'une région très accidentée. Ces deux fleuves sont encaissés entre des collines très abruptes et les divers établissements s'étendent presque tous en bandes très étroites le long des bords. Souvent deux parties d'une même usine sont installées de part et d'autre du fleuve et reliées par un pont gigantesque (Jones et Langhlin, à Pittsburgh; usines Carnegie d'Homestead) *(fig. 15. Pl. 122)*.

C'est encore dans ce district que s'est formée et développée ce qu'on appelle la « pratique américaine » dont nous examinerons plus loin les caractéristiques. On peut même dire que les méthodes qui la caractérisent ont été le plus souvent établies et développées dans les usines de la Société Carnegie (Carnegie Steel C° — usines d'Edgar Thomson à Braddock, de Duquesne à Duquesne, et d'Homestead à Munhall). Nous noterons à ce sujet l'opinion de M. Harry Huse Campbell, directeur général d'une Société concurrente à Steelton (Pennsylvania Steel C°):

« Les méthodes d'administration des usines Carnegie, depuis » vingt ans, peuvent être considérées comme diamétralement » opposées aux méthodes européennes et entièrement différentes » de ce qu'il est possible d'adopter dans la généralité des cas.

» La plupart des industries doivent distribuer la majeure » partie des bénéfices sous la forme de dividendes et le direc» teur considéré comme le plus habile est celui qui peut dis» tribuer le plus. La majorité des actionnaires tient très peu

» compte des essais en vue de perfectionnements à apporter » aux usines.

» Aux usines Carnegie, la présence de très peu d'actionnaires » et l'influence prépondérante d'un seul homme doué d'une volonté énergique pour la réalisation d'un plan bien arrêté, ont » permis une ligne de conduite toute différente.

» Le principe fondamental de la direction des usines Carnegie » a été de détruire toute installation, depuis une machine à » vapeur jusqu'à l'aciérie la plus importante, chaque fois que » quelque chose de « meilleur » fut découvert, sans considération ni pour la date, ni pour les frais d'établissement de l'installation détruite. La définition du mot « meilleur » pouvant » être la suivante : possibilité d'obtenir plus économiquement » une production plus élevée, avec une plus grande régularité, » une plus grande continuité de marche. »

La mise en pratique d'un tel principe a entraîné la dépense de sommes énormes, et par suite la nécessité de ne distribuer que de très faibles dividendes. Elle a aussi entraîné de nombreuses erreurs, mais finalement on a obtenu des résultats considérables, et les économies provenant de l'accroissement de la production et de la diminution de la main-d'œuvre, ont fait retrouver et bien au delà tous les sacrifices d'argent consentis. On ne peut assez apprécier l'influence d'une telle organisation sur l'ensemble des autres établissements sidérurgiques des États-Unis.

Chicago.

Le producteur de beaucoup le plus important du district est l'Illinois Steel C° à South Chicago ; l'installation comprend une batterie de dix hauts fourneaux établie parallèlement aux bords du lac, dont elle n'est séparée que par un parc d'approvisionnement. Il existe encore à South Chicago les aciéries récentes de l'International Harvesting C°. Enfin à Joliet, à 65 km environ au sud-est de Chicago, existe une aciérie Bessemer, alimentant de petits laminoirs ; à Milwaukee une installation de laminage. Ces deux dernières usines approvisionnent en produits divers les centres agraires environnants.

Au point de vue de son approvisionnement en minerai, ce district se trouve dans des conditions très favorables. Les parcs à minerais des hauts fourneaux sont établis le long du lac et les bateaux transporteurs y sont déchargés directement.

Par contre la houille, provenant de l'Illinois, est très sulfureuse et n'a qu'un emploi très limité. Le gaz naturel fait complètement défaut. Des batteries de gazogènes doivent être établies et approvisionnées en houille de Pittsburgh ou de West Virginia. De même le coke provenant du district de Connelsville doit parcourir, par rail, une distance de 800 à 900 km.

Alabama.

Ce district, au point de vue des conditions, est à séparer nettement de tous les autres. On y rencontre côte à côte le minerai et la houille, mais le minerai y est de qualité inférieure, trop riche en P pour en obtenir des fontes acides, et cependant trop pauvre pour en obtenir des fontes basiques. Les houilles y sont sulfureuses et nécessitent un lavage préalable pour la fabrication du coke; le coke obtenu est tendre, analogue à nos cokes européens.

Les fontes obtenues ne peuvent être utilisées qu'en fonderie ou pour puddlage; leur affinage sur sole basique est particulièrement difficile par suite de leur teneur élevée en soufre et silicium.

Johnstown.

Ce district s'alimente en minerais du lac Supérieur, en coke et houille de Connelsville. La houille pour les chaudières provient de mines locales. Les principaux produits sont des rails, des profilés pour la construction et des aciers spéciaux.

Steelton.

L'installation dominante est celle de la Pennsylvania Steel C°, près Harrisburgh. Le principal caractère de ce district est la présence de minerais de fer à Cornwall, près Lebanon. Le complément est fourni par le bassin du lac Supérieur. On y emploie du coke de Connelsville; la houille est fournie de Clearfield ou du Westmoreland.

Cleveland. — Buffalo.

Les conditions y sont analogues à celles de Chicago *(fig. 9)*. Le minerai est débarqué directement dans les parcs d'approvisionne-

ments de hauts fourneaux. Étant donné que pour produire une tonne de fonte, il faut environ 1,66 t de minerai et moins de 1 t de coke, il semblerait, au premier abord, que ces districts dussent prendre un très rapide développement. Ce développement est limité, d'une part, par le prix élevé de la houille comparativement à celui du gaz naturel utilisé à Pittsburgh et, d'autre part, par la situation moins favorable par rapport aux centres de consommation.

Sparrow's Point.

Ce district est le seul au bord de l'océan Atlantique. Les usines de la Maryland Steel C° sont établies immédiatement sur le bord de l'océan; elles furent établies en vue de l'exportation. Elles devaient s'alimenter en minerai de Cuba et en coke, de Connelsville. La guerre hispano-américaine a fait cesser momentanément l'exploitation de Cuba, et actuellement elles s'approvisionnent en minerais espagnols et du bassin du lac Supérieur.

Colorado.

L'industrie sidérurgique du Colorado est concentrée à Pueblo. Les conditions commerciales y sont toutes spéciales, par suite de l'éloignement des autres districts producteurs.

Le coke provient du sud du Colorado, à 150 km de Pueblo. La houille contient environ 30 0/0 de matières volatiles, est lavée et donne un coke dur contenant 16 0/0 de cendres. La houille de chauffage est trouvée sur place aux environs même de Pueblo.

III

LES MÉTHODES SIDÉRURGIQUES AMÉRICAINES

Installations de Hauts Fourneaux.

Caractéristiques générales.

Le trait saillant des installations de hauts fourneaux, aux États-Unis est l'emploi d'éléments à très forte production : jusqu'à 500, 600 et même 800 t par vingt-quatre heures. La dureté particulière du coke et la richesse du minerai permettent seules une hauteur suffisante — 27 à 30 m — et des lits de fusion assez riches pour l'obtention de telles productions. En France et en Europe étant donnée la nature des cokes et des minerais, il serait absolument impossible de se rapprocher de telles productions. De semblables unités seraient, d'ailleurs, peu en proportion avec la puissance productive de nos usines. Aux États-Unis, au contraire, non seulement ils sont un facteur d'économie en main-d'œuvre en permettant de diminuer le nombre d'équipes, mais au point de vue de l'emplacement, dans des usines telles que celle d'Edgar Thomson à Braddock qui possède douze de ces hauts fourneaux, ils sont l'élément pour ainsi dire nécessaire.

Le premier problème qu'ont eu à résoudre les Américains, a été d'assurer l'approvisionnement et le chargement de tels éléments. Un seul de ces hauts fourneaux nécessite par jour 2 000 à 2400 t de matières premières : minerai, coke et castine, soit près de 100 t à l'heure. Le problème était encore compliqué par le fait de l'interruption de la navigation sur les grands lacs, du 1er décembre au 1er mai. Il fallait pendant l'été mettre en stock une quantité suffisante de minerais pour toute la durée de l'hiver. A côté d'accumulateurs de consommation, toute installation de hauts fourneaux, aux États-Unis, possède un immense parc de réserve. D'énormes ponts-roulants couvrent ces accumulateurs et ces parcs, et permettent une manutention rapide des minerais. Il est nécessaire de noter que ces installations coûteuses ne sont justifiées que par les difficultés toutes spéciales des conditions d'approvisionnement, et ne le seraient nullement avec nos conditions européennes.

Une seconde conséquence nécessaire des tonnages élevés est la suppression de la coulée en halle. La halle de coulée ne sert

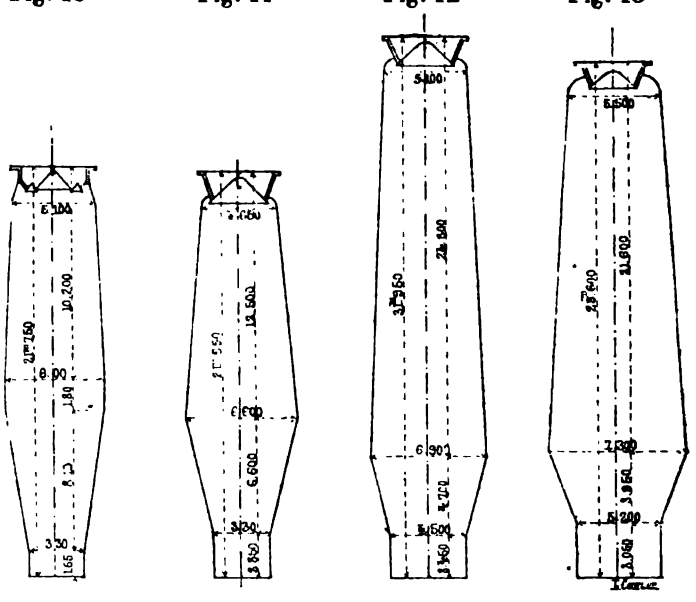
plus qu'à recevoir les canaux conduisant la fonte directement dans des poches *(fig. 11 et 12, Pl. 122)*. La fonte est, autant que possible, utilisée immédiatement par l'intermédiaire de mélangeurs de 200 à 350 t. Parallèlement au mélangeur on rencontre presque toujours une batterie de machines à couler; le système Uehling est le plus répandu *(fig. 13 et 14, Pl. 122)*. Quelques usines avoisinant Pittsburgh, dont les hauts fourneaux et les aciéries sont séparées par la rivière Monongahela, ont jeté des ponts spéciaux au transport de la fonte liquide. C'est le cas des aciéries Carnegie, à Homestead, Jones et Langhlin, à Pittsburgh *(fig. 15)*.

L'élément unitaire d'une installation de hauts fourneaux, aux États-Unis comprend deux hauts fourneaux séparés par une ligne de huit appareils Cowper; l'ensemble reposant sur un radier suffisamment surélevé pour assurer la coulée en poches. D'un côté, les moyens d'approvisionnement: cases de consommation et parc de réserve; de l'autre, les moyens de coulée. Quant à l'installation de soufflantes et de pompes, sa situation est nécessairement très variable suivant les usines.

Profils. — Constructions.

Les quatre profils *(fig. 10 à 13)* et la table ci-dessous résument l'évolution des hauts fourneaux aux États-Unis depuis 1880.

Fig. 10 **Fig. 11** **Fig. 12** **Fig. 13**



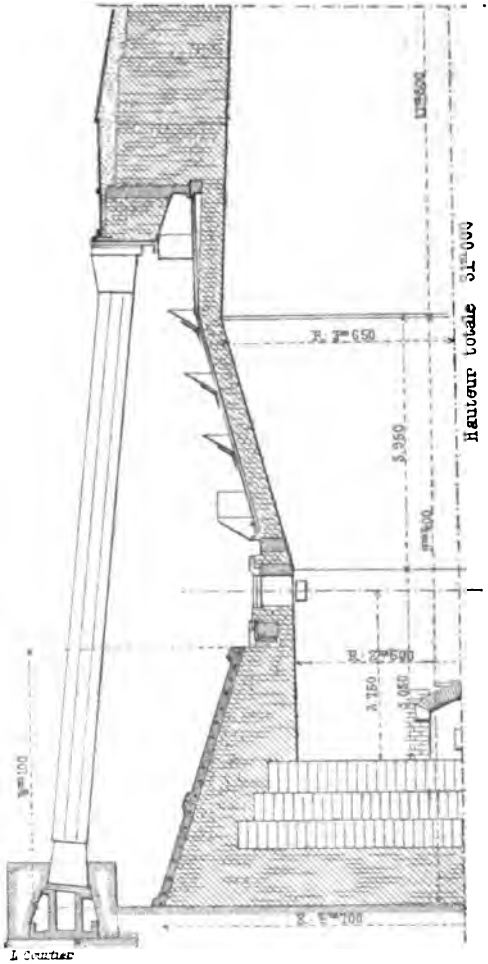
Évolution du haut fourneau aux États-Unis.

FIGURES	DATE de LA MISE A FEU	HAUTEUR	VOLUME	SOUFFLAGE				PRODUCTION DU HAUT FOURNEAU par 24 heures	VOLUME par TONNE-24 HEURES	CONSOMMATION DE COKE par tonne de fonte	USINES
				VOLUME par minute	PRESSION	TEMPÉRATURE	NOMBRE de tuyères				
		m	m³	m³	kg	degrés		t	m³	t	
Fig. 10	Avril 1880	24,40	503	850	0,30	600	8 de 140 mm.	135	3,7	1,280	H. F. Edgar Thomson, à Braddock.
— 11	Sept. 1889	24,40	515	700	0,60	600	7 de 150	340	1,5	0,850	Id.
— 12	1900	32,50	750	1400-1700	normale 1,00 possible 1,70	500	16 de 150	600	1,25	0,800	National Steel C°, à Youngstown.
— 13	1904	28,65	640	2100	normale 1,20 possible 2,00	550	20 de 150	720	0,9	0,800	Lackawanna Steel C°, à Buffalo.

On estime actuellement la hauteur normale d'un haut fourneau à 27-29 m (90-95 pds). On tend également à diminuer le nombre des tuyères et à le ramener entre quinze et dix-huit.

La figure 14 est la coupe de la partie inférieure d'un des

Fig. 14 - HAUT-FOURNEAU
DE LA LACKAWANNA STEEL C° - BUFFALO



nouveaux hauts fourneaux de la Lackawanna Steel C°, à Buffalo. La cuve est toujours supportée indépendamment des étalages par un cercle de colonnes; cette cuve, contrairement au mode européen, est le plus souvent entourée complètement d'une cuirasse en tôle qui sert de support à la plate-forme du gueulard

et à l'appareil de chargement. Cette plate-forme est d'ailleurs aussi légère que possible, puisque, dans tous les cas, le chargement étant automatique, il n'y est fait aucune manutention.

La majorité des hauts fourneaux ont, comme en Europe, leurs étalages refroidis par l'interposition dans les parois de boîtes de refroidissement à circulation d'eau. Le système représenté (*fig. 14*) consiste à entourer les étalages d'une cuirasse métallique refroidie constamment par une série de chutes d'eau en cascade. Ce système tend à s'étendre de plus en plus ; il présente l'avantage de concourir à la formation d'une surface interne d'étalages beaucoup plus lisse que celle obtenue par l'emploi des caisses à eau.

Approvisionnements. — Manutention. — Chargement.

Le coke arrive toujours par rail avec une régularité telle que la plupart des usines, du moins en Pensylvanie, n'ont aucun stock de coke. Les trains, au fur et à mesure de leur arrivée, sont dirigés directement vers les voies établies au-dessus des cases de consommation. Dans quelques usines (H.-F. Carrie, Carnegie Steel Co) (*fig. 15*), on a même disposé deux accumulateurs spéciaux d'où le coke se déverse directement dans la benne de chargement du haut fourneau ; dans d'autres usines les accumulateurs à coke sont similaires aux accumulateurs à minerais et la reprise du stock y est faite de la même manière.

Nous avons vu que la majorité des usines américaines s'alimentait en minerais du bassin minier du lac Supérieur.

Pour les usines situées sur les bords du lac Michigan (South Chicago, Milwaukee) ou du lac Érié (Cleveland, Buffalo), les procédés de déchargement déjà examinés permettent à volonté le déversement du minerai au tas ou dans les cases de consommation (*fig. 9*). — Quant aux usines situées à quelque distance du port de déchargement (Youngstown à 120 km, Pittsburgh à 240 km), elles établissent des dépôts à la fois aux usines et aux ports ; les premiers sont cependant de beaucoup préférables, la manutention de minerais gelés entraînant toujours de nombreuses difficultés.

Des voies ferrées affectées spécialement aux minerais relient la plupart des usines importantes aux ports de déchargement. L'emploi de wagons de 50 t et même 60 t à fond mobile dont le poids mort ne dépasse guère 15 t est général. Une locomotive à

huits roues accouplées pesant 130 t avec son tender peut convoyer 25 à 30 wagons, soit une charge utile de minerais atteignant 1500 t. Dans ces conditions, les frais de transport sont d'environ 1 centime par tonne kilométrique.

Les méthodes de déchargement soit aux stocks, soit dans les cases de consommation sont assez variables dans le détail suivant les conditions locales de chaque usine.

Aux hauts fourneaux Eliza des usines Jones et Langhlin à Pittsburgh, l'installation comprend quatre hauts fourneaux de 30,50 m. Outre 128 cases de consommation disposées en deux rangs parallèles au radier général, on a disposé — à quelque distance à cause des nécessités du terrain — un parc de réserve de 230 m × 100 m. Neuf voies ferrées supportées sur des colonnades d'acier environ 12 m au-dessus de la surface du sol permettent d'y entasser 560 000 t de minerai *(fig. 15, Pl. 122)*. Sur le sol, distantes de 7,50 m et perpendiculairement aux premières sont établies d'autres voies sur lesquelles circulent des pelles à vapeur *(fig. 16, Pl. 122)*. Ces pelles effectuent le chargement de wagons à fond mobile de 45 t, wagons qui sont ensuite élevés et déversés aux cases de consommation. Une pelle à vapeur peut effectuer le chargement de 45 t en 10-15 minutes.

La reprise en-dessous des cases de consommation et le transbordement dans la benne de chargement se fait au moyen d'un wagonnet électrique de forme toute spéciale *(fig. 17, Pl. 122)*. Ce wagonnet, à fond incliné, de façon à permettre le déversement immédiat de sa charge par l'ouverture d'un panneau mobile, est supporté par le levier d'une bascule, ce qui permet d'y réunir exactement les divers sortes de minerai entrant dans la charge.

L'installation de Duquence (Carnegie Steel Co) comprend également quatre hauts fourneaux. Des cases sont disposées en deux rangs comme aux hauts fourneaux Eliza, mais le rang le plus rapproché du massif des hauts fourneaux est seul utilisé à l'alimentation du haut fourneau. Parallèlement à ces cases est établi un parc long de 330 m et large de 70 m pouvant contenir une réserve de plus de 600 000 t de minerai. Trois ponts roulants d'une portée de 75 m avec une extension au-dessus des cases assurent la manutention *(fig. 18 et 19, Pl. 122)*. Munis d'une benne de 10 t, ils viennent reprendre le minerai au dessous des chutes dont est muni spécialement le rang extérieur des cases et le déversent au tas. — L'hiver, au moyen d'une benne dragueuse *(fig. 20, Pl. 122)*, ils reprennent le minerai au

tas; la benne est alors culbutée dans les cases de consommation, *soit* directement, soit par l'intermédiaire des wagons à fond mobile.

Récemment, on a cherché à vider le wagon de minerai en le retournant à 120 degrés de sa position initiale; c'est le but de la machine à culbuter les wagons *(fig. 21, Pl. 122)*. Elle est constituée en principe d'une robuste charpente métallique en forme $\frac{1}{2}\sqcup\frac{1}{3}$; 2,3 constitue une partie de la voie d'amenée des wagons, l'extrémité 4 porte un axe de rotation reposant sur une charpente métallique fixe dont la partie supérieure reçoit un treuil électrique dont les câbles sont fixés au fond 2, 3 et permettent le retournement. Le mouvement est facilité par l'action de contrepoids accélérant ou retardant le mouvement suivant que le centre de gravité de la partie mobile est au-dessus ou au-dessous de l'axe de rotation.

Les wagons sont amenés un à un sur la plate-forme de la machine à culbuter; chaque wagon en y prenant place en pousse le précédent vide. Tantôt une locomotive pousse tout un train de wagons; quelquefois aussi on utilise la gravité. Dans ce dernier cas, la force vive du wagon est réglée de façon qu'il s'arrête sur la voie entre la plate-forme et la fosse d'un poussoir actionné par un câble *(fig. 22, Pl. 123)*. Aussitôt que le wagon de minerai a passé la fosse, ce poussoir le suit et l'amène au point voulu sur la plate-forme de la machine à culbuter.

Le wagon est solidement assujetti au moyen de taquets hydrauliques horizontaux et verticaux. Un tablier d'acier guide la charge au moment où elle se déverse.

Dans certaines installations, on se sert encore de la gravité pour ramener le wagon au parc des vides. Le wagon quittant la plate-forme roule immédiatement sur une voie en pente où il acquiert la force vive exactement nécessaire pour s'arrêter dans une rampe après avoir dépassé une aiguille automatique qu'il emprunte dans un mouvement de retour pour se diriger absolument automatiquement vers les voies de dépôt des wagons vides.

Une telle machine peut culbuter jusqu'à 1 800 t de minerai à l'heure, soit un wagon de 60 t toutes les deux minutes. — Le débit est actuellement de beaucoup supérieur à la puissance des ponts-roulants desservant les dépôts.

Aux hauts fourneaux Carrie (fig. 15), dépendant des aciéries d'Homestead, la charge des wagons tombe dans huit réservoirs intermé-

diaires fermés par des portes rotatives au-dessous desquelles viennent des wagonnets électriques portant les bennes des ponts roulants du parc *(fig. 23, Pl. 123)*. Chaque wagonnet porte deux bennes. Par un système d'aiguillage automatique ces bennes sont amenées sur les ponts roulants qui les déversent soit au stock, soit dans les cases de consommation *(fig. 24 et 25, Pl. 123)*. Les cases de consommation de minerai et fondant sont établies dans ce cas particulier en deux lignes perpendiculaires au radier général et passant par l'axe du haut fourneau *(fig. 15)*.

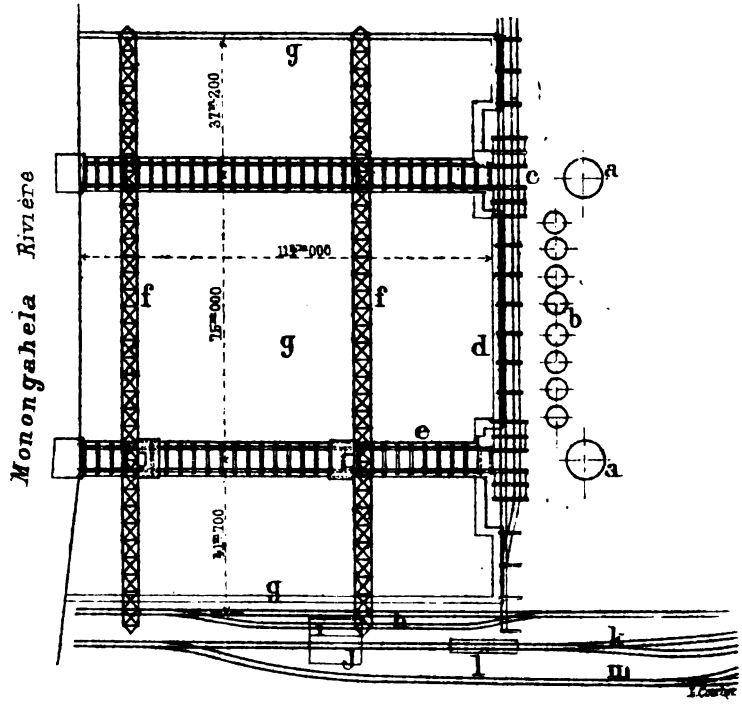


Fig. 15. — Installation-type américaine, H. F. Carrie.

a, Haut fourneau;
b, Appareils Cowper;
c, Cases à coke;
d, Estacade d'arrivée du coke;
e, Cases à minerai;
f, Ponts transbordeurs à minerais;
gg, Dépôt de minerais;
h, Voies de remplissage des bennes des ponts;
i, Cases de la machine à culbuter les wagons;
j, Machine à culbuter les wagons;
l, Fosse du poussoir;
k, Voie d'arrivée des wagons pleins;
m, Voie de retour des wagons vides.

Chaque benne du pont roulant contient 10 t; les deux ponts roulants de l'installation peuvent manutentionner de 50 à 70 bennes, soit 500 à 700 t de minerai à l'heure.

Ces ponts roulants se déplacent sur des voies établies à la partie supérieure des cases de consommation; la portée entre les points d'appui est de 75 m avec deux extensions, l'une de 50 m vers la voie d'arrivée des bennes, l'autre de 45 m soit une portée totale de 170 m. La voie de roulement du chariot est de 19 m au-dessus du sol du dépôt; la course totale est de 165 m.

La vitesse de translation du chariot est de 240 à 270 m la vitesse de levée de la benne de 75-90 m. L'ensemble du pont roulant se meut avec une vitesse de 25 à 30 m. Tous ses mouvements sont contrôlés par des embrayages et des freins établis sur l'arbre principal d'un moteur électrique de 135 ch.

La reprise au dépôt de minerai est faite comme à Duquence par une benne dragueuse de 10 t. Un pont roulant peut aussi déverser dans les cases de consommation 15 bennes à l'heure soit 3 600 t par 24 heures.

A Youngstown (National Steel Co) le contenu du wagon culbuté tombe dans quatre wagonnets spéciaux portés eux-mêmes sur un truck roulant. Ce truck est amené sous un pont roulant spécial (brevet Hulett), de sorte que les quatre portions de voies sur lesquelles se trouvent les wagonnets viennent en prolongement de quatre voies portées par le pont-roulant, voies ascendantes et convergentes vers une voie supérieure *(fig. 26, Pl. 123.* Les quatre wagonnets y sont successivement élevés par un tracteur à câble et culbutés automatiquement au point désiré.

La portée du pont est de 80 m avec une extension de 18 m au-dessus des cases de consommation.

La reprise du minerai au stock et le transport dans les cases de consommation s'effectue par une benne à mâchoires Hulett analogue à celle utilisée au déchargement des bateaux. On peut effectuer 25 à 30 prises de 5 500 kg à l'heure.

L'appareil de chargement employé est d'une manière presque absolue le skip incliné à double voie, les deux bennes de chargement ont des mouvements inverses; le poids mort des bennes est équilibré et la capacité du chargement est doublée. La benne repose sur la voie de roulement par deux paires de galets; la paire inférieure est à double gorge. Au sommet du haut fourneau la voie normale s'incurve tandis que la deuxième gorge du galet inférieur emprunte une voie surélevée et produit le déver-

sement automatique dans la coupe de chargement C'est le type installé en Belgique aux hauts fourneaux d'Ougrée. Il existe également en France avec une seule voie, à Homécourt et à Jarville en Meurthe-et-Moselle. La charge d'une benne est d'environ 6 000 kg.

La benne de chargement descend dans une fosse étanche au-dessous du sous-sol des cases de consommation. La charge y est amenée des cases par l'intermédiaire de chariots peseurs électriques. Ces transbordeurs sont formés d'une caisse à fond incliné tantôt suspendue à la charpente métallique *(fig. 27, Pl. 123)* des cases et tantôt reposant sur un chariot *(fig. 17, Pl. 122)*.

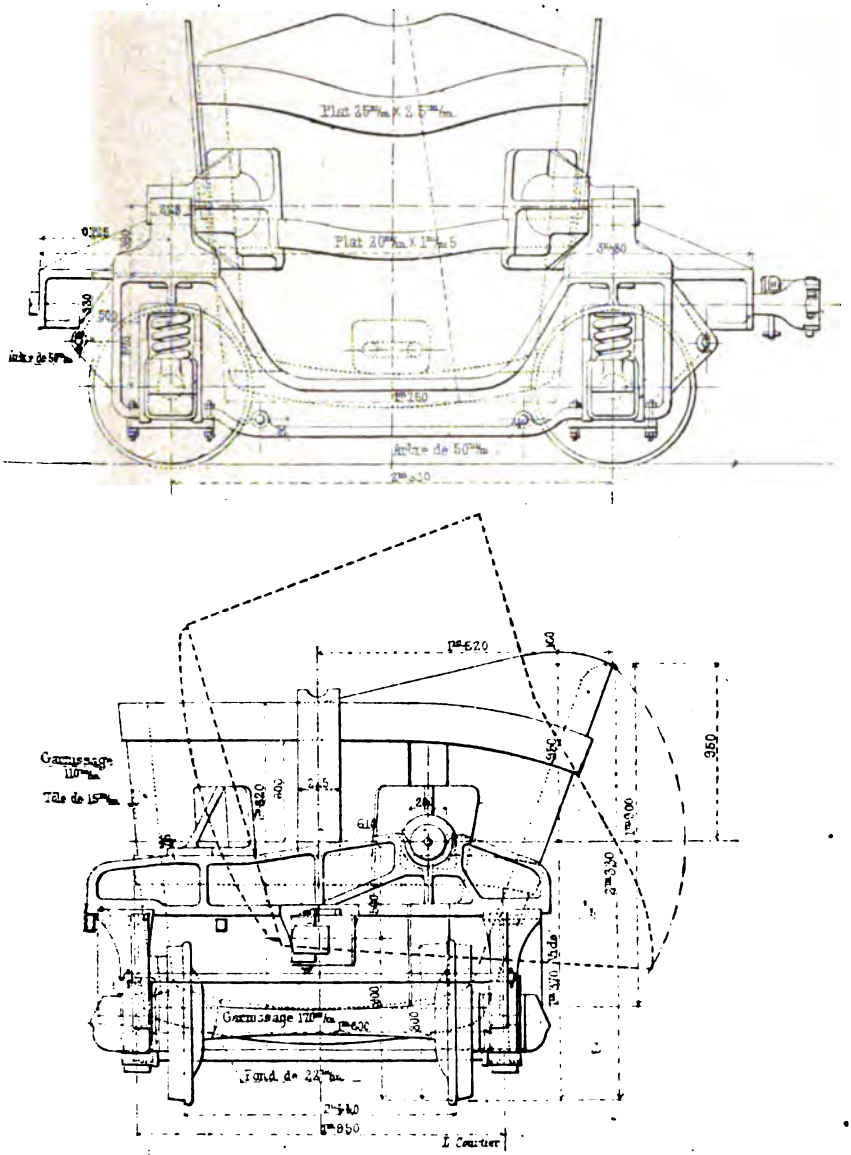
L'installation de Duquence est une des rares installations qui aux États-Unis différent du type précédent. La benne de chargement est formée d'un cylindre reposant sur un fond conique portant au centre une tige de suspension terminée en T. Un tracteur incliné à câble muni d'un crochet vient saisir cette tige et élève la benne jusqu'au sommet du haut fourneau. Là, la partie cylindrique vient reposer sur un siège tandis que le fond conique continuant un mouvement de descente la charge se déverse symétriquement au gueulard.

Chaque benne de chargement est reçue à la partie inférieure sur un chariot; on en forme des trains qu'une petite locomotive entraîne sous les chutes des cases de consommation *(fig. 28, Pl. 123)*.

Coulée de la fonte et du laitier. — Utilisation.

La fonte est toujours reçue dans des poches de coulée. Aux usines Jones et Laughlin à Pittsburg, l'axe de rotation des poches est excentré d'environ 60 cm par rapport au centre de gravité; le renversement de ces poches est effectuée par un treuil ou une grue dont on vient fixer le crochet à un anneau que porte le fond de la poche. La poche tend toujours à reprendre sa position primitive *(fig. 16)* *(fig. 12, Pl. 122)*. A ces mêmes usines un pont de 330 m de long est jeté sur la rivière Monongahela *(fig. 15, Pl. 122)* et porte trois voies spécialement disposées pour l'amenée de la fonte liquide au mélangeur ou aux fours Talbot. En outre, une installation de trois machines à couler Uehling permet de transformer en gueuses de 50 kg la production du dimanche. Chacune de ces machines a une capacité de 1 000 t en 24 heures.

Fig. 16 - POCHE A FONTE - HAUT FOURNEAU ELIZA (JONES & LAUGHLIN)



Une des difficultés secondaires qu'eurent à résoudre les Américains fut l'utilisation du laitier. — D'une façon absolument générale on en fait actuellement du ciment.

Le laitier est granulé aussi près que possible du haut fourneau par un courant d'eau très abondant. Deux procédés sont usités pour la fabrication du ciment :

1° Le laitier basique granulé est mélangé intimement à de la chaux éteinte ; le mélange est pulvérisé ; c'est un véritable ciment de laitier ;

2° On mélange du laitier à du calcaire ; le mélange est pulvérisé, calciné et broyé à nouveau. On obtient ainsi un réel ciment Portland.

Afin d'accélérer la prise du ciment de laitier, l'Illinois Steel C° à Chicago y ajoute de 0,125 à 3 0/0 de soude caustique (brevet Whiting). La soude est introduite dans l'eau d'extinction de la chaux. Le laitier utilisé doit avoir une couleur gris clair, il doit provenir d'une allure chaude et sa granulation doit être effectuée aussi près que possible du haut fourneau par un courant d'eau abondant et de grande vitesse.

Une moyenne de 300 analyses suit :

SiO^2 — 29,60 à 35,60 0/0

$Al^2O^3 + Fe^2O^3$ — 12,80 à 16,80 0/0

CaO — 47,99 à 50,48 0/0

MgO — 4,09 à 2,81 0/0

La Birmingham Cement C° exige que la composition satisfasse aux conditions suivantes :

$CaO > 47,9$ 0/0

$SiO^2 + CaO =$ environ 81 0/0

$Al^2O^3 + Fe^2O^3 = 12$ à 15 0/0

Machines soufflantes.

La majorité des soufflantes aux U. S. A. sont à vapeur ; le premier essai de l'utilisation directe du gaz de haut fourneau dans des moteurs à explosion ne date que de quelques mois à la Lacka-

wanna Steel Co à Buffalo; l'installation comprend 8 moteurs Kœrting de 2000 ch.

Le type le plus courant est le moteur à vapeur vertical compound; les cylindres à vapeur et à vent sont superposés. Les caractéristiques d'une machine soufflante moderne suivent :

Cylindres à vapeur : Diamètres 1,37 m et 2,60 m, Course 1,50 m.
Cylindres à vent : — 2,75 m — 1,50 m.
Pression de la vapeur : 12 kg.
Nombre de tours par minute : 45.
Puissance : 5000 ch.
Air soufflé par minute : 1600 m^3 pour une pression de 1,75 kg.

Chaque haut fourneau possède quatre appareils Cowper; les appareils récents ont jusqu'à 36 m de hauteur et 6,50 m de diamètre.

D'une manière générale un branchement relie directement la conduite de vent froid à la conduite de vent chaud permettant ainsi au chef opérateur de modifier instantanément par la manœuvre d'un simple robinet la température du vent soufflé. Cette disposition est particulièrement intéressante pour le traitement des accidents très fréquents de la marche américaine : accrochage...

Dans la majorité des cas les gaz de haut fourneau sont épurés très sommairement, simplement par détente dans des appareils à très large section.

Procédé Gayley.

L'expérience audacieuse de M. James Gayley, de dessiccation par congélation de l'air soufflé à l'un des hauts fourneaux Eliza (Pittsburg), en produisant des résultats beaucoup plus importants que ce que l'on avait tout d'abord espéré, a donné immédiatement naissance à une large discussion dans les centres sidérurgiques du monde entier.

M. Gayley vient de publier les résultats comparatifs d'essais prolongés entre deux hauts fourneaux, de novembre 1904 à mars 1905. Le tableau ci-dessous représente la moyenne des résultats.

		AIR HUMIDE	AIR DESSÉCHÉ
Charge	Minerai (mélange à 53, 5 0/0 Fe) . kg	9 070	10 885
	Calcaire (47, 6 0/0 CaO). . . . . —	2 270	2 720
	Coke (10,5-12,5 0/0 de cendres). —	4 625	4 625
Production de fonte par jour . . . . . tonnes		364	455
Consommation de coke par jour . . . . . tonnes		318	350
Soufflantes	Nombre de tours par minute . . .	114	96
	Déplacement du piston par minute. m³	1 130	963
	Puissance indiquée. . . . . ch	2 700	2 613
Température de l'air	à la soufflante . . . . . degrés	21	— 4
	au haut fourneau. . . . . —	382	465
Gaz de haut fourneau	Température à la sortie du haut fourneau . . . . . degrés	281	191
	Composition . CO^2 0/0.	13	16
	Composition . CO 0/0	22,3	19,9

D'où vient cette surproduction de 24-25 0/0 ou mieux cette réduction de 19 à 20 0/0 dans la consommation de coke par tonne de fonte, alors que la vaporisation et la dissociation de l'eau contenue dans l'air soufflé représentent tout au plus 3 à 5 0/0 du coke consommé? Deux raisons permettent d'expliquer cette anomalie apparente :

Et tout d'abord, il faut éviter soigneusement, dans la discussion du procédé Gayley, d'assimiler les conditions européennes aux conditions américaines. Le haut fourneau européen moderne est un appareil de précision auquel on imprime une allure bien déterminée en vue de l'obtention d'une fonte de composition chimique parfaitement déterminée, fonte de laquelle on requiert souvent des qualités physiques et mécaniqnes toutes spéciales. Le haut fourneau américain est, au contraire, dans la majorité des cas, un appareil à production intensive auquel on demande le tonnage maximum d'un composé ferreux liquide dont les qualités chimiques, physiques et mécaniques peuvent varier très largement, pourvu qu'elles restent dans les limites requises pour le traitement par un procédé de conversion : Bessemer, Martin, ou autre.

La conséquence de cette marche intensive est que le caractère normal de l'allure d'un haut fourneau américain est l'irrégula-

rité. L'eau contenue dans l'air soufflé peut être représentée par le jet sortant d'un ajutage d'un diamètre de 20 à 35 mm pour une charge de 12 mètres. On peut facilement concevoir l'influence des variations de ce jet sur la marche régulière d'un haut fourneau. M. Gayley a eu pour but principal d'augmenter la régularité de marche du haut fourneau par la suppression d'une des causes principales des irrégularités. De cette régularité même, il a dû immédiatement en résulter une économie dans la consommation de coke, économie qu'il est impossible de calculer, mais de l'importance de laquelle on se rendra facilement compte puisqu'il n'est pas rare, aux États-Unis, suivant que l'allure est plus ou moins régulière, d'avoir d'un jour à l'autre des variations atteignant 150-180 kg de coke par tonne de fonte. Ces variations de consommation coïncident toujours avec des variations dans le produit ferreux obtenu, décelant ainsi un accident intérieur.

Il nous semble que l'augmentation de production du haut fourneau puisse encore être due à une autre cause : à l'augmentation de la puissance de fusion du haut fourneau.

Dans les expériences de M. Gayley, la température du vent sec s'est élevée de 83 degrés (382 degrés à 465 degrés). De cette élévation de température, de la diminution du phénomène de dissociation aux tuyères, il doit nécessairement résulter une surélévation importante de la température dans l'ouvrage, et par suite, une augmentation immédiate du tonnage de fonte liquéfiée, sans augmentation dans la consommation du coke, *pourvu que* le pouvoir réducteur des gaz produits soit suffisant pour réduire une quantité de minerai correspondant à cette augmentation de tonnage. Le pouvoir réducteur de gaz sera mieux utilisé, et c'est ce que semblent confirmer la température et la composition des gaz dans les deux cas du vent humide et sec.

Ce dernier effet eut d'ailleurs été obtenu par une simple augmentation de la capacité des appareils Cowper permettant une surélévation équivalente de la température du vent soufflé. La justification fondamentale du procédé Gayley est la recherche, pour le haut fourneau américain, d'une régularité d'allure analogue à celle de nos hauts fourneaux européens modernes.

Production. — Records.

Les records de production des hauts fourneaux, aux États-Unis, sont actuellement presque tous détenus par l'installation d'Edgar Thomson (Carnegie Steel C°), déjà citée.

En mars 1905, quatre hauts fourneaux (D, E, J, K) ont produit 77 242 t, soit une moyenne de 644 t par haut fourneau et par 24 heures.

Le haut fourneau K a produit, ce même mois, 21 500 t, soit une moyenne de près de 700 t par jour.

Ce même haut fourneau K a produit 918 t de fonte le 30 mars 1905.

Aciéries Bessemer.

Caractéristiques générales.

Le procédé Bessemer acide est le seul que l'on rencontre aux États-Unis, la nature des minerais ne permettant pas l'obtention de fontes assez phosphoreuses pour être traitées par le procédé Thomas; le seul débouché des fontes dites « non-Bessemer » est le procédé Martin sur sole basique et c'est même là l'une des causes principales de l'extension rapide de ce procédé.

Le trait caractéristique des installations Bessemer américaines est la puissance de production. Cette puissance est la conséquence directe d'un agencement particulier des cornues permettant une rapidité surprenante pour les diverses réparations et, plus particulièrement, pour les changements de fond. Il en résulte le maintien, pour la cornue, d'une chaleur physique considérable, la possibilité d'employer des fontes moins siliciées (0,8 à 1 0/0 de Si) et, comme conséquence, une réduction importante de la durée du soufflage (9 à 11 minutes). Enfin, la puissance des installations est portée à son maximum par l'installation d'un nombre suffisant de machines soufflantes pour permettre la marche simultanée de plusieurs cornues : deux et jusqu'à trois cornues ; c'est-à-dire, parfois, la totalité de l'installation.

Le nombre de charges par heure et pour chaque cornue est de 4 à 5, ce qui correspond à une moyenne de 12 à 15 minutes par opération. Dans ces 12 à 15 minutes sont comprises 9 à 11 minutes de soufflage, de sorte qu'il ne reste que 2 à 5 minutes pour le transvasement de l'acier, l'approvisionnement en fonte et les réparations. En marche courante, ces diverses manœuvres n'exigent pas plus de 2 à 3 minutes ; le remplacement d'un fond nécessite jusqu'à 10-12 minutes.

Aussitôt que le soufflage est terminé, la cornue s'abaisse sans arrêt jusqu'au déversement de son contenu dans la poche de coulée. Les additions, que ce soit du spiegel ou du ferro-manganèse, qu'elles soient liquides ou solides, s'effectuent dans la poche de coulée concurremment avec le transvasement de l'acier. Aucune prise d'essai n'est faite avant la coulée en lingotières ; à ce moment, on prélève deux échantillons : l'un pour un essai immédiat et l'autre comme témoin pour un contrôle possible.

Sauf le cas où le remplacement du fond est nécessaire, la cornue prend immédiatement la position horizontale et reçoit sa charge de fonte. On ne remplace jamais une tuyère corrodée. La plaque porte-fond présente, autour de chaque tuyère, une glissière permettant d'y caler rapidement une rondelle d'acier obturatrice ; quelques boules de mélange réfractaire sont en même temps lancées adroitement par le bec de la cornue et complètent l'obturation. Toute cette opération se fait, d'ailleurs, simultanément avec le déversement de la fonte dans la cornue.

Le principe du remplacement d'un fond est différent de celui adopté en Europe. Tandis qu'en Europe, le joint avec la cornue est conique et que le remplacement d'un fond nécessite une démolition très pénible et très délicate, aux États-Unis, on remplace toute la partie inférieure de la cornue : garnissage, enveloppe extérieure, fond, boite à vent. Le joint, avec la partie supérieure de la cornue est horizontal.

Lorsqu'on veut effectuer un remplacement de fond, — chaque fond dure environ 20 coulées — on amène au-dessous de la cornue un chariot hydraulique dont le piston est amené au contact; on déclavète toute la partie inférieure dont le poids est suffisant pour l'obtention du décollage immédiat du joint. Le piston est abaissé, le chariot, rapidement entraîné, est remplacé

par un second, portant le nouveau fond de cornue. Sur le nouveau joint, on a étalé d'avance un coulis réfractaire très épais; un simple clavetage suffit pour l'obtention d'une parfaite étanchéité. Le remplacement d'un fond n'augmente que de 8 à 10 minutes la durée régulière de l'arrêt entre les soufflages successifs. Il n'en résulte qu'un faible refroidissement pour la cornue. D'autre part, comme la marche normale, aux États-Unis, consiste dans l'emploi de fontes un peu plus siliciées qu'il n'est nécessaire, fontes qui permettent l'introduction, en marche courante, de chutes de profilés divers, on diminue ou supprime simplement ces additions refroidissantes pendant l'opération qui suit le remplacement d'un fond.

Il est excessivement rare que l'on ait à réchauffer une charge trop froide; on le fait en soufflant mi-partie dans le bain et mi-partie au-dessus du bain.

On profite généralement de l'arrêt d'un jour de fête pour effectuer les grosses réparations, tel le revêtement d'une cornue, sauf cependant le cas très rare où l'installation comprend un nombre suffisant de cornues pour qu'une soit toujours en réserve.

La manière de procéder ci-dessus, qui permet une marche continue des cornues, est d'autant plus intéressante qu'elle semble applicable au procédé Thomas, en permettant d'augmenter l'efficacité et de diminuer notablement l'importance des installations.

Opération. — Mode de coulée. — Halles de coulée.

Il est évident que pour obtenir cette vitesse et cette continuité de marche, les Américains ont dû y subordonner tous les autres services : les services réfractaire, des approvisionnements en fonte et addition, de la coulée. La cornue ne doit jamais attendre; c'est une question de puissance pour ces divers services.

Les poches de fonte et les additions sont généralement amenées directement au niveau de la plate-forme de rotation des cornues. La fonte vient le plus souvent directement de mélangeurs, cependant quelquefois de cubilots. En général il existe une installation de cubilots fournissant l'addition de spiegel et qui si elle ne fournit pas la fonte d'une façon continue rend cependant l'aciérie Bessemer indépendante des mélangeurs et du service des hauts fourneaux. C'est une mesure de précaution très importante, les

aciéries Bessemer aux États-Unis étant toujours l'élément de tête d'une puissante installation de laminoirs.

D'une façon presque générale, une grue reçoit la poche de coulée et sitôt remplie la vient passer soit sur un support fixe établi au-dessus de la voie des lingotières, soit à une grue de coulée.

La grue de réception dessert toujours deux cornues. La disposition d'ensemble des aciéries Bessemer est toujours telle qu'une cornue puisse toujours immédiatement se débarrasser d'une poche qui vient d'être remplie ; elle est immédiatement munie d'une poche vide prête à recevoir une nouvelle charge. Toutes ces grues sont actionnées mécaniquement et les leviers de commande établis sur une plate forme surélevée.

Dans quelques rares installations (Pennsylvania Steel C° à Steelton) la poche de coulée est manutentionnée par un pont roulant. C'est une disposition analogue à celle des aciéries Martin.

La poche est toujours fixe au-dessus des lingotières. Ces lingotières sont placées deux par deux sur un train de trucks roulants et c'est ce train qui est déplacé au fur et à mesure du remplissage des lingotières par un système de taquets hydrauliques,

Sitôt la coulée terminée, on maintient le tampon-obturateur relevé ; on ferme la partie inférieure du trou de coulée par une plaquette métallique s'encastrant dans deux rainures spécialement disposées et on projette dans le trou de coulée une pelletée de sable réfractaire sur lequel on abaisse le tampon. On retire alors la plaquette métallique et on nettoie le joint par en-dessous (1). Ce procédé permet de ne remplacer la pièce réfractaire spéciale formant assise pour le tampon (busette) que lorsque l'on procède à un nouveau garnissage pour les poches; une poche est utilisée d'une façon continue pendant toute la durée du garnissage. Ce dernier se fait tantôt en briques et tantôt en sable pilonné. L'obturateur est remplacé toutes les trois ou quatre coulées. Une petite grue dont le rôle principal est le retournement de la poche pour en expulser la scorie sert également à effectuer ce remplacement.

L'emploi du « stripper » est absolument général aux États-Unis. Le plus souvent des voies de garage sont établies formant

(1) Il se produit un collage qui rend quelquefois difficile la séparation ultérieure de l'obturateur de son siège. Pour y aider, on introduit, au moment de la coulée en lingotière, une tige de bois au-dessous de l'obturateur, et on fait pression au moyen d'un levier en prenant point d'appui sur la lingotière.

parc de refroidissement pour les lingotières ; cependant quelquefois ce parc est insuffisant et le refroidissement est facilité par aspersion.

Quelques installations et leur production.

A Duquesne (*fig. 17*), près Pittsburgh, (Carnegie-Steel Co) l'installation comprend deux cornues de 10 t alimentées d'un mélangeur de 200 t.

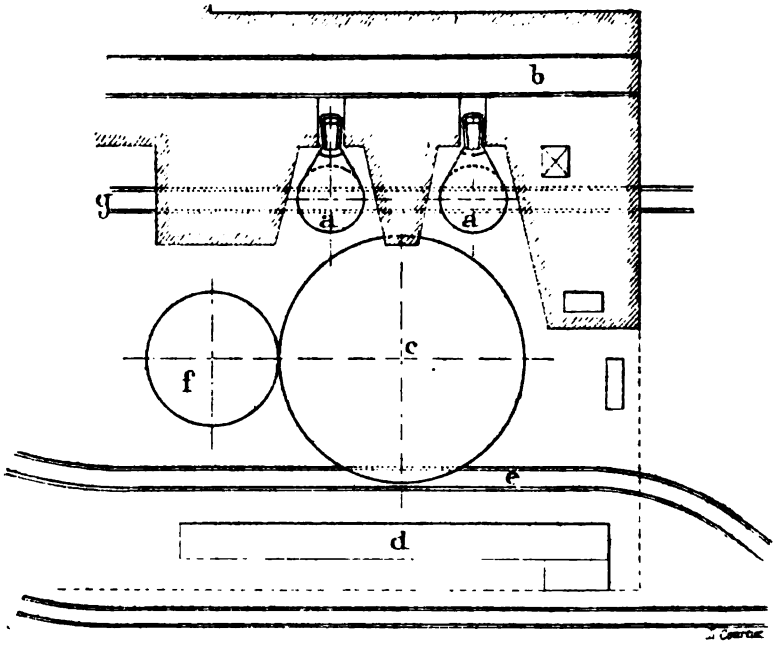


Fig. 17. — Schéma de l'aciérie Bessemer de Duquesne (Carnegie Steel Cº).

a, Convertisseurs ;
b, Voie d'arrivée de la fonte ;
c, Grue de coulée ;
d, Banc de coulée ;
e, Voie des lingotières ;
f, Grue de manutention des poches ;
g, Voie d'amenée des fonds.

La production moyenne en 24 heures (trois postes de 8 heures) est de 2 100 à 2 200 t de lingots ayant une section de 500 mm × 450 mm et pesant de 2 400 à 3 000 kg.

Les records suivants ont été atteints :

En 12 heures on a soufflé 131 charges, soit une moyenne de onze par heure, en produisant 1 300 t de lingots ;

En 24 heures on a soufflé 239 charges, soit une moyenne horaire de 10, en produisant 2325 t.

En mars 1905, on a produit 60 000 t de lingots en 27 jours, soit une moyenne journalière de 2220 t.

Aux aciéries Edgar Thomson, à Braddock *(fig. 18)*, l'installation

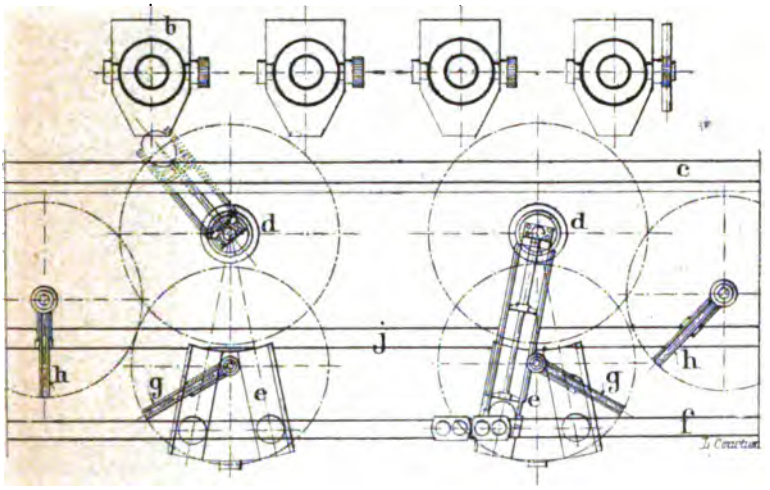


Fig. 18. — Schéma de l'aciérie Bessemer d'Edgar Thompson, à Braddock (Pa).

a, Voie d'amenée de la fonte liquide ;
b, Convertisseurs ;
c, Voie d'amenée du spiegel ;
d, Grues de coulée ;
e, Glissières-support de poche ;
f, Voie des lingotières ;
g, Grue de manutention. — Retournement. — Obturation de la poche ;
h, Grue de manutention des poches en réparation ;
j, Voie de décrassage.

comprend quatre cornues de 14,5 t. C'est une des rares installations où une cornue est constamment en réserve et trois en marche dont deux seulement en soufflage.

On souffle une moyenne de 9 à 10 charges par heure ce qui correspond à une production de 3 000 à 3 600 t de lingots en 24 heures. La production mensuelle varie de 75 000 à 85 000 t par mois.

Aux aciéries de South Chicago *(fig. 19)*, trois cornues de 14 t assurent une production mensuelle de 65 000 à 75 000 t de lingots.

Il est très intéressant de comparer ces chiffres à la production totale d'acier Bessemer en France qui a atteint 1 161 954 t en 1903 soit une production mensuelle de moins de 100 000 t.

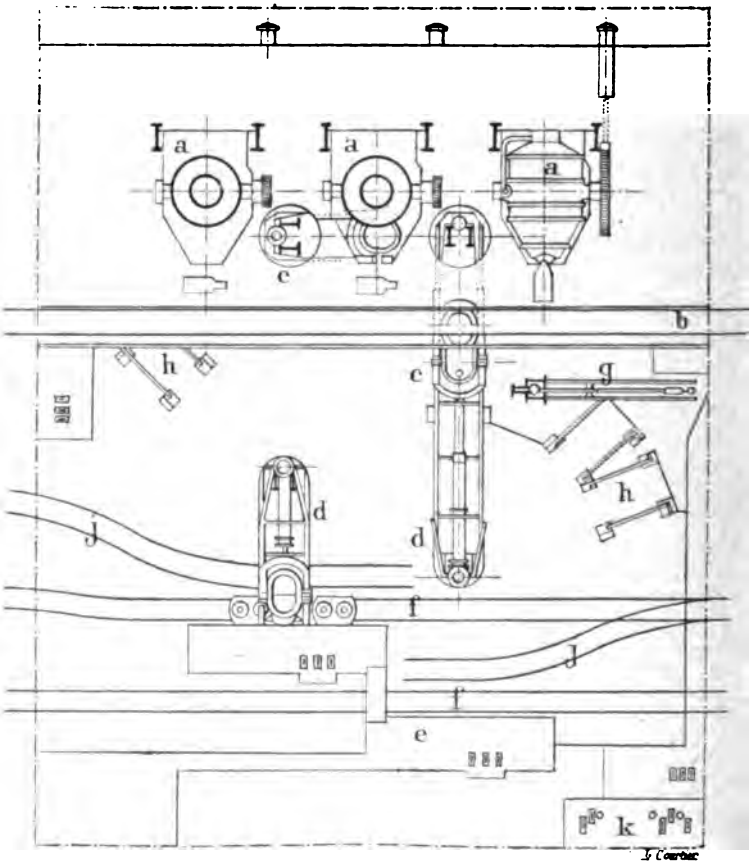


FIG. 19. — Schéma de l'aciérie Bessemer de l'Illinois Steel Co, à South Chicago.

a, Convertisseurs;
b, Voie d'arrivée de la fonte liquide;
c, Grues de réception de l'acier;
d, Grues de coulée;
e, Plate-forme de coulée;
f, Voies des lingotières;
g, Grue de manutention des poches;
h, Supports de réparation des poches;
j. Voies de décrassage;
k, Plate-forme des leviers de commande des grues.

Aciéries Martin

Caractéristiques générales.

Les aciéries Martin américaines sont analogues dans leur ensemble aux aciéries modernes d'Europe. Les deux caractères qui les différencient sont le tonnage particulièrement élevé des fours récents (50 t) et l'importance des installations (jusqu'à 28 fours en deux lignes dans un même hall, à l'aciérie Martin n° 3 d'Homestead). Ces deux caractères sont d'ailleurs une conséquence directe de l'importance des installations de laminage qu'elle doivent alimenter et de la recherche du minimum de main-d'œuvre.

La production de ces installations par rapport aux aciéries européennes n'est pas proportionnelle au tonnage des fours. La durée d'une opération varie suivant la charge de sept à douze heures, mais cet espacement même de coulées est recherché en ce sens qu'une équipe peut suffire à d'autant plus de fours que les coulées sont plus espacées.

Toutes les installations américaines sont identiques dans leur ensemble. Une ligne de fours, d'un côté une plate forme de chargement puis un parc d'approvisionnement ; de l'autre une halle de coulée. L'installation est quelquefois double, symétrique par rapport à une halle de coulée centrale.

Construction des Fours.

La majorité des fours est à sole basique le plus souvent dolomitique avec voûte et piédroits en briques de silice, brûleurs et points délicats en briques de magnésie et de chromite. La construction d'un four consiste à empiler soigneusement des briques et des pièces spéciales sans aucune interposition ; le seul joint employé en certains points délicats consiste en sable siliceux, magnésien ou dolomitique.

Aux aciéries Martin des usines Carnegie, on procède pour la confection de la sole un peu différemment de la pratique courante européenne. On termine la sole le four étant construit et allumé. Sur le fond de sole formé d'une assise de briques réfractaires, première qualité de 75 cm, de briques de chromite

de 11 cm, de briques de magnésie de 11 cm, on étend un mélange de dolomie non goudronnée et de 15 0/0 environ de laitier provenant d'opérations précédentes. On opère par faibles couches successives que l'on grille très fortement puis que l'on glace par refroidissement. La construction d'une sole exige environ quinze jours mais la durée en est presque indéfinie.

Il en résulte que la reconstruction d'un four se bornant aux piédroits, aux brûleurs et à la voûte peut être très rapide, Un four peut être mis à feu environ soixante-dix heures et recevoir sa première charge moins de cent heures après sa dernière charge.

Les chambres de récupération sont toujours complètement dégagées du massif du four *(fig. 20)*. Leur section verticale est en général beaucoup moindre par rapport à leur longueur que dans le type européen. Il en résulte une circulation des gaz très inclinée sur la verticale. Pour diminuer cette inclinaison, les chambres sont parfois sectionnées en deux parties dans leur longueur. (Pennsylvania Steel Co, à Steelton.)

Le volume total d'une chambre à air et d'une chambre à gaz varie de 1,5 m^3 à 3 m^3 par tonne ; le volume de la chambre à gaz est des deux tiers aux trois quarts de celui de la chambre à air.

Dans la région de Pittsburgh, où l'emploi du gaz naturel est général, ce gaz est introduit directement à l'extrémité des brûleurs dans une direction perpendiculaire à chacune des faces du four. On a cependant prévu quatre chambres de récupération, de dimensions généralement plus faibles que dans les fours employant du gaz de gazogène, chambres qui sont toutes utilisées au chauffage de l'air. Il en résulte qu'aucune fissure n'est à redouter ni dans les chambres, ni dans les brûleurs et que la construction peut en être très simple sans s'inquiéter d'une étanchéité absolue des joints.

Le nombre d'opérations dans une campagne varie de 300 à 700. Les deux records actuels sont les suivants :

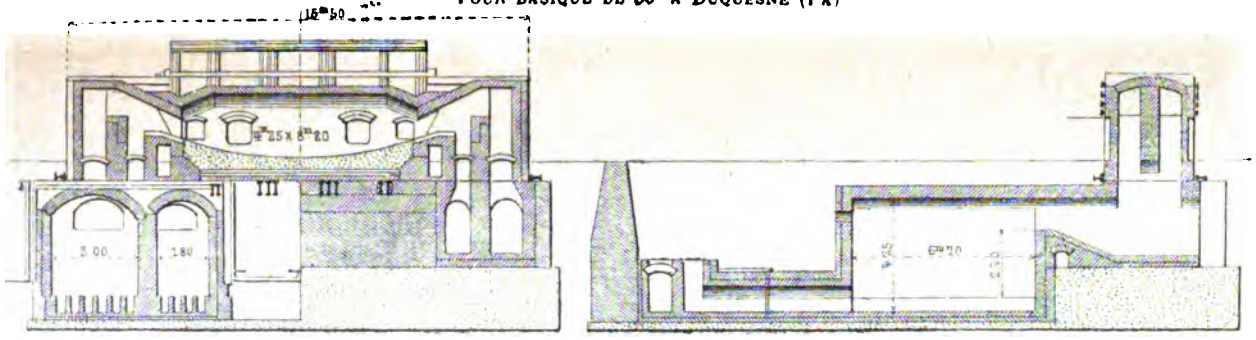
27 557 t en 501 opérations au four Martin n° 7 de la Belle Iron Works (Stenbenville-Ohio) ;

702 opérations avec 26 700 t au four n° 13 des aciéries Carnegie à Homestead.

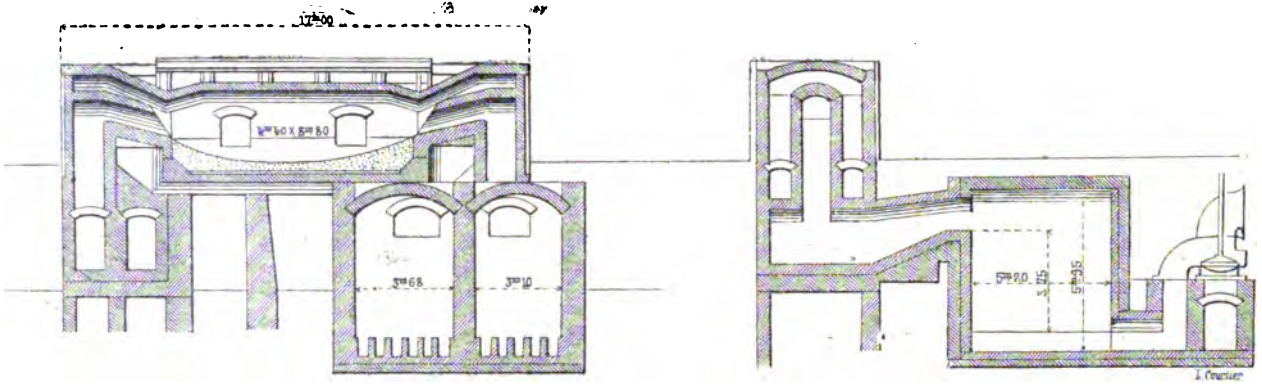
Fours rotatifs. — On rencontre aux États-Unis deux types de fours rotatifs : le four Campbell et le four Wellman. Dans le four Campbell l'axe de rotation coïncide avec l'axe des brûleurs;

Fig. 20 - TYPES DE FOURS MARTIN AMÉRICAINS

FOUR BASIQUE DE 50t A DUQUESNE (PA)



FOUR BASIQUE DE 50t A SHARON (PA)



dans le four Wellman, en même temps que la rotation, il se produit un mouvement en avant du four ; les brûleurs ne coïncident plus et il est nécessaire de couper l'admission du gaz et de l'air durant toute la rotation.

Malgré leurs avantages, ces fours sont assez peu répandus. Le four Wellman est employé pour le procédé Talbot aux aciéries de Pencoyd et Jones et Laughlin à Pittsburgh. Récemment on l'a muni d'un avant-creuset avec trou de coulée, permettant le transvasement direct de l'acier dans les lingotières *(fig. 29, Pl. 123.)*

Dispositions d'ensemble : parcs de chargement. Halles de coulée.

Dans toutes les aciéries Martin, aux États-Unis, le chargement est effectué mécaniquement au moyen de chargeuses électriques Wellman, analogues au type usité en Europe. On estime, aux États-Unis, qu'une chargeuse Wellman économise environ 25 0/0 du temps nécessaire à l'affinage d'une charge, avec une réduction du coût, tant en main-d'œuvre qu'en combustible.

Parallèlement à la plate-forme de chargement est établi un parc surmonté de plusieurs ponts roulants effectuant directement le transfert des caisses de chargement depuis le wagon d'amenée des approvisionnements où elles sont remplies jusqu'aux trucks qui, formés en trains, les amèneront sur une voie établie entre celle des chargeuses et le massif des fours.

A l'aciérie Martin de Duquesne (Carnegie Steel C°), 12 fours de 50 t installés en une seule ligne dans un hall de 42 m × 320 m, sont approvisionnés d'un parc ayant 20 m × 320 m. Ce parc est traversé dans toute sa longueur par trois voies normales et deux voies étroites. Sur les premières circulent les wagons d'approvisionnement, sur les dernières les trucks portant les caisses de chargement. Le transbordement est effectué par quatre ponts roulants électriques de 5 t.

La plate-forme de chargement a une largeur de 25 m. Elle est parcourue par trois chargeuses Wellman du type bas, et par un pont roulant électrique de 40 t avec treuil auxiliaire de 15 t. Ce pont roulant sert à la manutention des poches de fonte liquide introduite dans la charge. Le treuil auxiliaire de 15 t, utilisé pour le renversement des poches, sert également pour toutes

les manutentions, et en particulier pour la construction et les réparations des fours.

Les parcs d'approvisionnement sont le plus souvent établis en plein air ; cependant aux nouvelles aciéries Martin de Sharon, on a recouvert le parc par une toiture légère, non seulement dans le but d'abriter les ouvriers, mais aussi afin de supprimer pendant l'hiver l'introduction, dans la charge, d'un pourcentage en eau très important.

Très souvent la plate-forme de chargement est au même niveau que le sol du parc, de sorte que les caisses puissent y être amenées en train directement, sans l'intermédiaire de monte-charges. Dans quelques installations où le niveau est différent, afin de conserver cette facilité des manutentions, on a même aménagé des rampes d'acier sur lesquelles les trains de caisses de chargement sont tirés par des tracteurs à câble *(fig. 30, Pl. 123)*. (Wellman Seaver Engineering C° — Cleveland — O.)

Le chargement d'un four de 50 t peut facilement être effectué en une demi-heure ; mais, d'une façon générale, on ne cherche jamais à réaliser cette vitesse; on préfère effectuer le chargement en plusieurs fois, afin de moins refroidir le four.

Les charges sont très variables, suivant le stock disponible. Aux aciéries d'Homestead on charge en moyenne 50 0/0 de fonte et en tous cas on ne descend jamais au-dessous de 42 0/0, cette limite inférieure étant une conséquence de l'emploi du carbonate de calcium comme addition basique ; cette addition est très refroidissante ; on en ajoute environ 8 0/0 de la charge. La fonte employée pour le procédé basique, quoique de qualité « non Bessemer », est cependant peu riche en Si et en P. On l'utilise, si possible, sous la forme liquide venant d'un mélangeur ou directement du haut fourneau, sinon sous la forme de gueuses.

Aucune particularité importante n'est à signaler quant à l'opération elle-même. On accélère l'affinage par des additions d'hématite rouge, et en fin d'opération on facilite le contact du bain et de la scorie en se servant d'une barre d'acier à laquelle on imprime un mouvement analogue à celui employé dans le procédé de puddlage.

L'arrêt de l'opération s'effectue au moyen d'une éprouvette que l'on trempe sans pilonner, puis que l'on brise. La recarburation s'effectue toujours dans la poche au moment où l'on y transvase l'acier. Aux aciéries d'Homestead on ajoute le manganèse au moyen de ferro et, tenant compte du carbone ainsi intro-

duit, on parfait la différence par l'addition de sacs d'anthracite. L'anthracite est en morceaux de la grosseur d'une noisette et chaque sac en contient environ 50 kg. On estime que 50 0/0 du C ainsi introduit est réellement utilisé à la recarburation.

Le four vide, on procède avec beaucoup de soin à une réparation de la sole, des piédroits et des brûleurs. Pour la sole et les piédroits, on utilise la dolomie calcinée sans aucune addition de goudron ; pour les brûleurs un mélange sableux contenant 1/3 en magnésie et 2/3 en minerai de chrome.

Les halles de coulée ont toutes la même disposition d'ensemble. La poche est reçue par un support fixé au-dessous du trou de coulée ; dans le cas d'une plate-forme de chargement de niveau, ce support est établi en fosse. La poche y est reprise par un pont roulant l'amenant près d'une plate-forme de coulée au-dessus du train de lingotières. Ce train se déplace au fur et à mesure de la coulée, la poche restant fixe. — La coulée en train est générale ; la coulée en source n'est utilisée que pour des lingots spéciaux pour canons, plaques de blindage, etc.

La lingotière, de section généralement carrée, est très souvent terminée à sa partie supérieure par une partie cylindrique de 200 à 250 mm de diamètre. Le but est de réunir dans cette partie toutes les crasses et d'avoir pour le sommet du lingot proprement dit des arêtes très vives en vue de faciliter le laminage.

Aux aciéries de Duquesne, le hall de coulée a 17 m × 320 m. Le sol est surbaissé de 3 m par rapport à la plate-forme de chargement ; une fosse circulaire de 1 m de profondeur est établie au-devant de chaque four et reçoit la poche de coulée. — Le service de coulée est assuré par trois ponts roulants électriques de 75 t avec treuil auxiliaire de 25 t et trois plates-formes de coulée. Le hall est traversé dans toute sa longueur par trois voies : l'une près des plates-formes est la voie de coulée ; la deuxième le long des fours est une voie de décrassage ; la troisième, centrale, raccordée aux deux premières de distance à distance, est une voie de dégagement.

Aciéries de Duquesne

Nous donnons ci-dessous les détails d'une opération aux aciéries de Duquesne.

Charge

Fonte	liquide	kgs	22 200
	en gueuses.		6 800
Rails			13 600
Tôles			7 000
Scraps de coulée.			3 000
Minerai (Vermillon)			1 100
Co^3Ca			4 100

Additions en cours d'opération.

Minerai (Vermillon)	1 150
CaF^2	45
Ferro-Manganèse.	45
Barre d'agitation (usure)	45

Durée.

Commencement du chargement. . . .	0^h
Fin du chargement	2^h20^m
Percée.	9^h50^m

Résultats.

Acier	9 lingots (635×760). kgs	49.300	93,1	0/0
	1 bout de lingot.	680		
Scraps	Fosse de coulée	810	2.9	0/0
	Poche	90		
Perte.		2 150	4	0/0
	kgs	53 030		

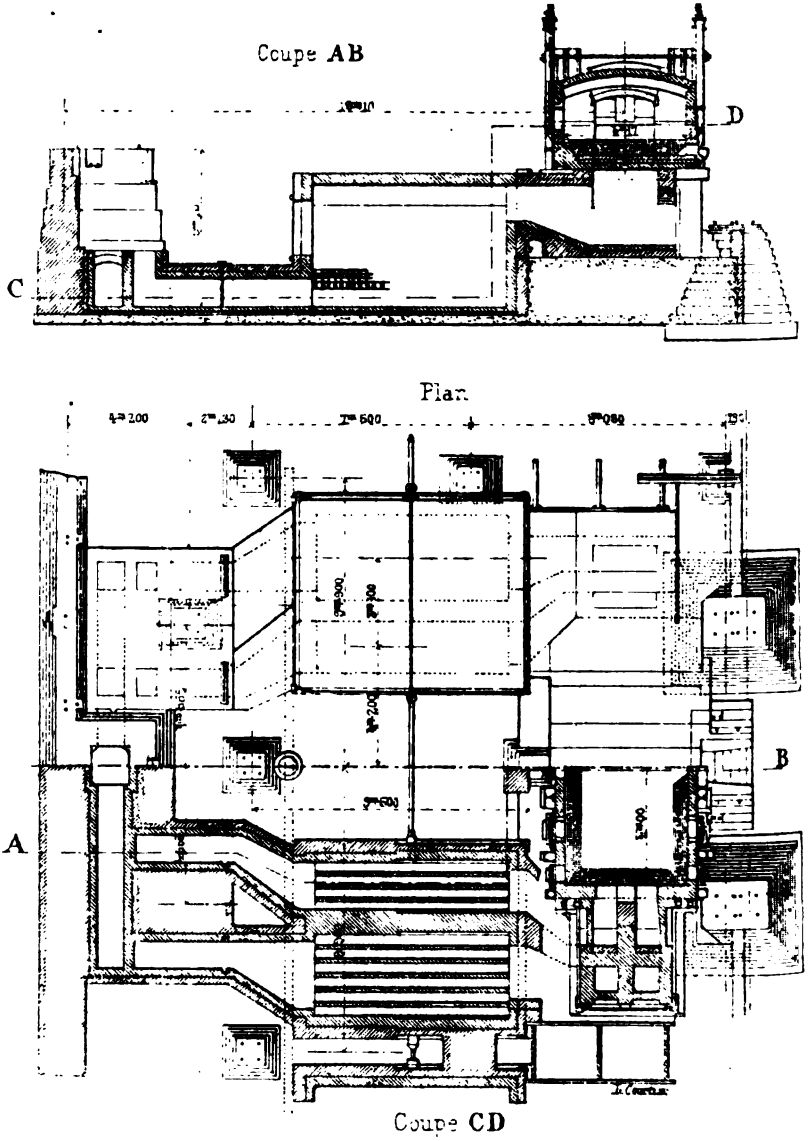
Acier obtenu.

C.	0,11—0,14	0/0
P.	0,04	
Mn	0,50—0,55	

PERSONNEL DE L'ACIÉRIE MARTIN N° 3 D'HOMESTEAD.

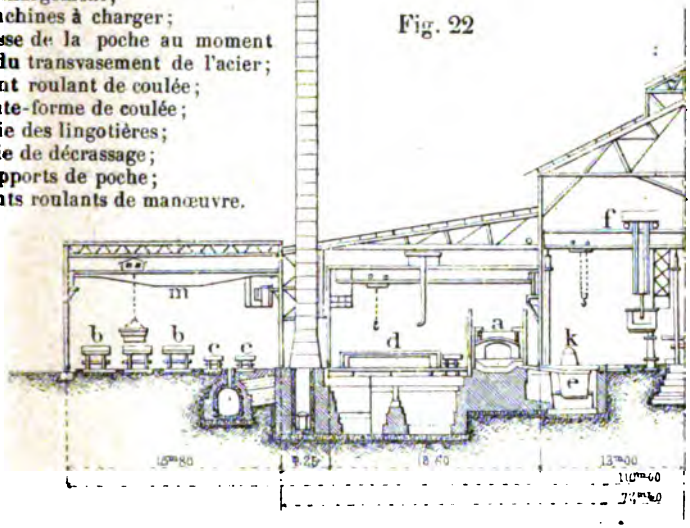
Elle comprend, dans un même hall *(fig. 21 et 22)*, 28 fours en deux lignes de 14, qui au point de vue personnel sont divisés en quatre groupes, sous la direction générale d'un chef de fabrication. Chaque groupe de 7 fours, dont 6 seulement sont généralement en

Fig. 1[illegible] - FOUR MARTIN BASIQUE DE 50[illegible] - HOMESTEAD



a, **Fours Martin ;**
b, **Voies normales d'arrivée des matières premières ;**
c, **Voies étroites des trucks de chargement ;**
d, **Machines à charger ;**
e, **Fosse de la poche au moment du transvasement de l'acier ;**
f, **Pont roulant de coulée ;**
g, **Plate-forme de coulée ;**
h, **Voie des lingotières ;**
j, **Voie de décrassage ;**
k, **Supports de poche ;**
l-m, **Ponts roulants de manœuvre.**

Fig. 22



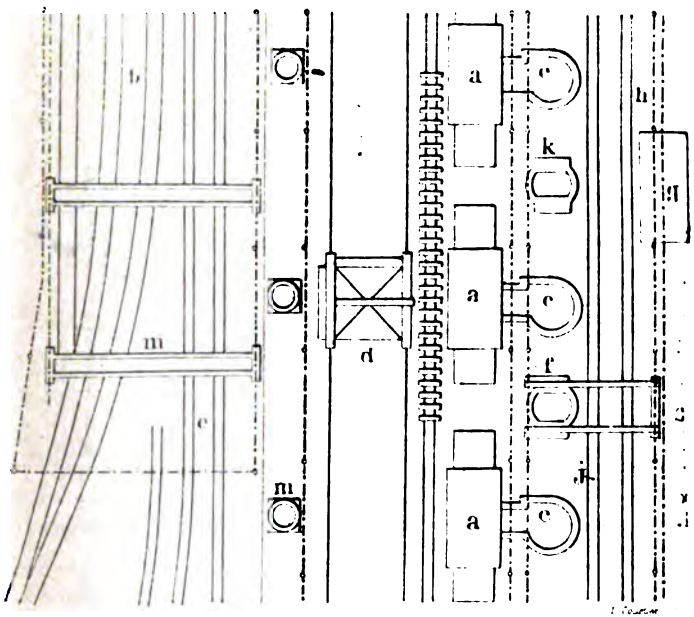


Fig. 22. — Aciérie Martin de Homestead (Carnegie Steel C°) (1/8 de plan).

marche, est sous la surveillance d'un contremaître qui a sous ses ordres le personnel suivant :

6 chefs opérateurs — un par four;
6 opérateurs adjoints;
3 aides (douze à quinze ans) aux leviers de commande des portes;
3 nettoyeurs de poches;
3 manœuvres pour le nettoyage général;
1 mécanicien et une machine à charger.

De plus, pour chaque ligne de 14 fours :

1 mécanicien au pont roulant des poches de fonte :
3 mécaniciens aux ponts roulants des poches d'acier ;
2 maçons pour le regarnissage des poches usées.
Pour chaque parc :
3 mécaniciens aux ponts roulants de transbordement;
1 équipe de 20 à 25 manœuvres.

Enfin, pour la totalité de l'installation :

12 petites locomotives (4 au parc de chargement, 4 pour les manutentions intérieures, 4 à la manutention des lingots jusqu'au stripper) nécessitant chacune un mécanicien-chauffeur et un aiguilleur (1).

PRODUCTIONS.

L'aciérie Martin de Duquesne (12 fours de 50 t) a une production mensuelle atteignant 40 000 t soit près de 500 000 t par an.

L'aciérie Martin n° 3 d'Homestead (28 fours de 60 t) a produit, en 1904, plus de 1 million de tonnes.

Il est intéressant de comparer de telles productions à celle de la France qui en 1903 a été de 677 674 t.

(1) La totalité du personnel — deux équipes de jour et de nuit — n'atteint, pour cette usine colossale, que 240-250 hommes. L'atelier basique réfractaire emploie 12 ouvriers, dont 9 manœuvres.

Les installations de laminage.

Caractéristique générale.

C'est certainement dans les installations de laminoirs aux États-Unis qu'apparaît le mieux immédiatement la préoccupation constante des Américains de perfectionner chaque détail en vue à la fois de l'intensité et de la continuité de la production, et de la diminution constante de la main-d'œuvre.

Il nous est impossible, dans l'étendue aussi limitée que celle d'un mémoire, d'étudier avec quelque détail l'ensemble des installations de laminage aux U. S. A. Nous nous bornerons simplement à quelques exemples pour en dégager quelques caractères d'ensemble.

Le caractère essentiel de toute installation est la continuité de marche des laminoirs; tous les éléments accessoires doivent être établis en vue de l'assurer. En outre, la liaison des divers trains est toujours telle que tout arrêt de l'un d'eux n'amène aucune perturbation dans la production et la marche des autres.

Un accident à un laminoir est considéré aux États-Unis comme une malchance, mais le temps perdu faute d'alimentation continue est une raison suffisante pour le renvoi immédiat du chef de service responsable. — Dans toute usine américaine bien organisée, tout arrêt, si minime qu'il soit, est soigneusement enregistré avec sa cause.

Réchauffage des lingots.

Le lingot démoulé mécaniquement est toujours réchauffé dans un four à cellules verticales; ces cellules sont toujours chauffées. On consent à cette consommation supplémentaire de combustible, afin de pouvoir faire varier à volonté la vitesse du réchauffage en la subordonnant aux besoins du laminoir dégrossisseur. L'emploi du four vertical, outre qu'il diminue et localise l'influence de la ségrégation, facilite encore de beaucoup les manutentions. — Chaque cellule contient généralement quatre lingots; elle est recouverte d'un couvercle réfractaire muni de quatre galets, qui peut glisser sur deux rails, sous l'action d'un cylindre hydraulique.

Les manutentions du lingot sont toujours effectuées par une massive tenaille verticale, suspendue à un pont roulant et possédant des mouvements de serrage, rotation et élévation (*fig. 31, Pl. 123*). Un mécanicien en dirige aisément tous les mouvements, d'une cabine fixée au pont roulant, quelquefois immédiatement au-dessus de la tenaille.

Blooming. — Laminage des rails.

Le lingot est toujours dégrossi dans un laminoir blooming, duo ou trio suivant les cas; le laminoir duo, très rare il y a quelques années, semble être de plus en plus en faveur.

Un blooming étant toujours l'élément de tête d'un ensemble de trains de laminoirs, on a cherché à rendre sa production indépendante de la marche de ces trains. A cet effet, on tend de plus en plus à disposer les cannelures des cylindres, de manière à pouvoir y produire, si nécessaire, soit des billettes de 4 pouces (101 mm 6), soit des bidons pour tôles. — L'adoption de ce type de billette a été très rapide aux États-Unis. Par suite des conditions toutes particulières dans lesquelles on cherche à les produire, le prix en est très réduit en même temps que la production, non seulement du blooming, mais encore des aciéries qui l'alimentent, peut être maintenue absolument constante.

Comme type de laminoirs à rails, nous avons choisi la fameuse installation d'Edgar Thomson à Braddock. Il existait, lors de notre voyage, deux laminoirs : l'un pour rails de moyenne section (de 12 kg à 35 kg au mètre), et l'autre pour rails de section normale (30 kg à 50 kg au mètre courant). Très récemment un troisième laminoir pour rails de 4 kg à 15 kg a été ajouté à l'installation.

Le train blooming est un trio; le lingot, repris aux cellules verticales par un des ponts roulants spéciaux qui ont servi au chargement (*fig. 31, Pl. 123*), est déposé sur un chariot qui vient automatiquement le renverser sur le chemin de rouleaux du laminoir (*fig. 32, Pl. 123*). Cinq rouleaux d'attente, actionnés séparément, permettent le laminage de lingots successifs sans aucune interruption.

Le retournement des blooms en laminage se fait automatiquement, au moment de la descente du tablier releveur, par butée sur un chariot de ripage. — Les blooms sont débités à longueur par une cisaille électrique; le couteau est actionné par excen-

trique. — Six hommes par poste de douze heures suffisent à diriger toutes les manutentions, depuis l'amenée du lingot des cellules jusqu'au cisaillage des blooms. Le record actuel de la production en vingt-quatre heures a été, le 27 avril 1905, de 4 000 t de blooms transformés en 3 700 t de rails.

Laminage des rails de moyenne section.

Deux fours à sole assurent le réchauffage des blooms. Chaque four possède dix portes sur chaque face, la largeur du four entre les deux faces étant suffisante pour loger trois blooms bout à bout. Les blooms cisaillés sont reçus sur un chariot transbordeur à une distance correspondant à celle des portes; ce chariot vient sur une voie le long du four et les blooms y sont simplement poussés. Un seul mécanicien dirige les mouvements du chariot et de la pousseuse. Sur l'autre face du four, une tireuse amène les blooms réchauffés — le refroidissement est très faible par suite de la rapidité des manutentions — sur un chariot à rouleaux actionnés qui se place immédiatement dans le prolongement du chemin à rouleaux de la première cage du train. Chaque four peut contenir trente blooms, soit une réserve pour environ trente-cinq minutes de marche seulement.

Le train est constitué de trois cages trios. Un rail est constamment en laminage dans chacune des cages. On effectue huit passes dans la première, cinq dans la deuxième et deux passes finisseuses dans la troisième. Les cylindres de cette troisième cage portent deux ou trois jeux de cannelures utilisées successivement, au fur et à mesure de leur usure; on diminue ainsi d'autant le nombre des changements de cylindres. — Pour activer ces changements, on effectue non seulement le remplacement des cylindres, mais de la cage entière toute préparée d'avance.

En marche normale, un rail de plus de 30 m émerge régulièrement toutes les 35-37 secondes de la cannelure finisseuse. Tous les retournements, transbordements de cannelure à cannelure et de cage à cage sont effectués mécaniquement. Trois lamineurs — un pour chaque cage — dirigent tout d'une plate-forme surélevée où sont disposés les divers leviers de commande.

Quatre scies actionnées électriquement, portées par des glissières qui en permettent le réglage à distance exacte, débitent d'un seul coup le rail en trois tronçons.

Rails a section normale.

La méthode de laminage des rails à section normale est identique à la précédente. Le réchauffage des blooms s'effectue, sitôt après cisaillage, dans cinq fours — dont quatre seulement sont utilisés en marche normale —. Chacun de ces fours possède neuf portes sur chacune de ses faces ; la capacité de chaque four est de neuf blooms. L'enfournement et le défournement des blooms s'effectuent encore par une pousseuse et une tireuse.

Les trois cages sont disposées à la suite les unes des autres, chacune étant actionnée par un moteur. Le nombre de passes est de cinq à sept dans la première cage; de cinq dans la deuxième cage ; toutes les deux sont des trios.

La troisième cage présente une cannelure finisseuse seulement. Avant de la traverser, les rails sont accolés par quatre, champignons contre patins; il en résulte pour chaque rail un arrêt de 100 à 110 secondes suffisant pour que la température s'y égalise parfaitement.

La capacité productive de ce laminoir est encore plus considérable que celle du précédent. Chaque 25-27 secondes, un rail émerge de la cannelure finisseuse et est immédiatement scié en trois tronçons commerciaux.

La production totale des deux laminoirs à rails d'Edgar Thomson a atteint 71 500 t dans un seul mois.

Toleries.

Les installations de tôleries sont très différentes suivant les conditions particulières des usines. Généralement, le lingot est tout d'abord dégrossi en brames ou bidons, soit dans un blooming, soit dans un laminoir universel. La largeur du laminé obtenu correspond généralement à la longueur de la brame recherchée ; une cisaille hydraulique le débite suivant la largeur désirée. Il résulte de cette méthode que le sens du laminage final est perpendiculaire à celui du dégrossissage d'où une amélioration de la qualité des tôles.

On procède toujours à un réchauffage avant le laminage final : ce réchauffage se fait toujours dans des fours à sole *(fig. 33, Pl. 123)*.

Les laminoirs finisseurs sont ou duos, ou trios, ou universels,

suivant la nature du produit recherché. Étant donnée la fréquence aux États-Unis des laminoirs trios, il est cependant intéressant de noter qu'on a de plus en plus tendance à laminer les tôles d'une épaisseur supérieure à 8 mm dans une série de deux cages duos.

Les aires de refroidissement, les installations de cisaillage sont toujours étudiées de façon à réduire autant que possible les manutentions. Ces installations sont très coûteuses, mais elles sont justifiées par l'importance des tonnages produits.

Laminoirs continus.

En principe, un laminoir continu consiste dans une suite de cages placées en série et à 1 m — 1 m 50 les unes des autres, la barre en laminage enfilant la cannelure de chacune des cages successivement et sans discontinuité. Des guides spéciaux dirigent et tordent la barre de 90° quand il est nécessaire. Les cylindres sont actionnés d'un arbre principal par une série d'engrenages d'angle calculés de manière que la différence des vitesses tangentielles de deux cylindres successifs corresponde à l'allongement du laminé. Lorsque les sections laminées sont très faibles, il est même nécessaire qu'il existe une certaine tension d'une extrémité à l'autre du laminoir *(Fig. 23)*.

L'emploi de ces laminoirs est encore très limité. Ils sont employés aux États-Unis, soit à la production de produits intermédiaires, tels que billettes, fil brut pour étirage; soit, récemment, comme dégrossisseurs pour des laminoirs à petits profilés marchands.

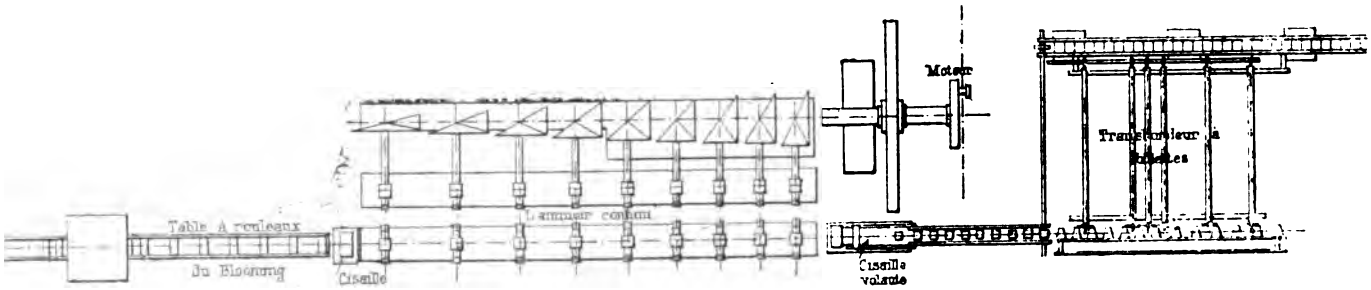
Laminoir continu a billettes.

Ces laminoirs utilisent directement le bloom à sa sortie du blooming; la tête en est simplement cisaillée. Le laminoir continu comprend six ou douze paires de cylindres de 350 à 400 mm *(fig. 34 à 36, Pl. 123)*.

Un bloom provenant d'un lingot de 2 à 3, 5 t, ayant une section initiale de 100 × 150 ou 85 × 170, quitte la dernière passe du laminoir continu sous la forme d'une billette ayant une section carrée de 38 × 38, une longueur de 180 à 300 m avec une vitesse atteignant 150 m par minute. La puissance du moteur nécessaire est d'environ 2 000 ch. La capacité productive

Fig. 23 - ACIÉRIES JONES ET LAUGHLIN

SCHÉMA DU LAMINOIR CONTINU A BILLETTES



d'un tel laminoir peut atteindre jusqu'à 1 800 t par vingt-quatre heures.

Cette billette de 180 à 300 m est, immédiatement à sa sortie du laminoir et d'une manière continue, cisaillée en bouts de 4 m à 9 m. La cisaille, d'un type tout spécial, oscille autour d'un axe horizontal de façon à suivre le mouvement de la billette pendant la courte durée du sectionnement.

Laminoirs continus a fils.

Ces laminoirs sont construits exclusivement par la « Morgan Construction C° » de Worcester. Ils comprennent deux trains continus *(fig. 37, Pl. 123)*. Un train dégrossisseur reçoit directement d'un four à réchauffer une billette 45 × 45 et la transforme dans six paires de rouleaux d'un diamètre de 250 mm à 275 mm en une billette 12 mm × 12 mm. La tête en est coupée par une cisaille volante avant de traverser les huit cages finisseuses; le diamètre des cylindres finisseurs est d'environ 250 mm. Chaque cylindre porte généralement vingt-quatre cannelures identiques qui peuvent être successivement utilisées au fur et à mesure de l'usure. On lamine quelquefois deux barres côte à côte. La puissance du moteur de chacun des laminoirs est de 1 000 ch ou de 1 600 ch suivant qu'on lamine une ou deux barres.

Aux usines de la Sharon Steel C°, deux laminoirs continus placés côte à côte produisent en marche normale plus de 500 t de fil brut par vingt-quatre heures.

Les billettes utilisées ont une longueur d'environ 9 m. Elles sont toujours réchauffées dans un four continu à sole inclinée *(fig. 38, Pl. 123)*. La sole de ce four a 10 m de large sur 6 m de long. Elle est constituée, dans sa partie supérieure, de tubes à circulation d'eau, dans sa partie centrale, de briques réfractaires, et dans sa partie inférieure, la plus chaude, de briques de magnésie.

Le gaz nécessaire au chauffage, lorsqu'il n'est pas du gaz naturel, est produit, de composition constante, par un gazogène à alimentation continue et symétrique par trémie rotative. Ce type de gazogène est soufflé au koerting avec une pression de vapeur de 0 kg 4 à 0 kg 6 par centimètre carré. L'expérience a prouvé que les hauteurs respectives des colonnes de cendre et de houille dans le gazogène avaient une influence prépondé-

rante sur la composition du gaz. Les conditions les plus favorables consistent à avoir environ 0,90 m de cendres au-dessus de la tuyère centrale, ces cendres étant recouvertes d'environ 0,75 m de houille aux divers stages de combustion.

L'air secondaire est refoulé par un ventilateur dans les parois du four, puis dans des carneaux réfractaires autour desquels circulent les gaz brûlés allant à la cheminée avant de venir en contact avec le courant gazeux.

Laminoirs continus dégrossisseurs pour trains marchands.

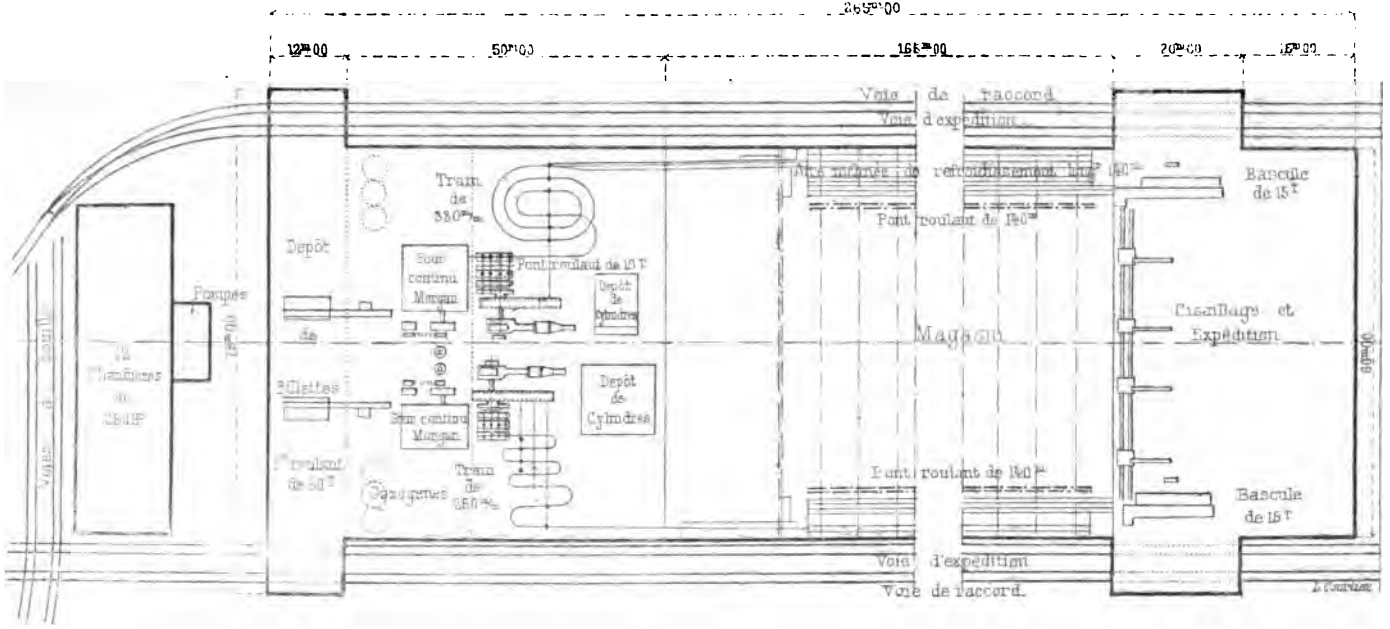
Nous prendrons comme type l'installation récente faite à Duquesne par la Société Carnegie *(Fig. 24)*. Elle comprend deux trains marchands de 250 mm et 330 mm, chacun de ces trains possédant un laminoir continu comme dégrossisseur.

Le train de 250 mm possède quatre cages dégrossisseuses disposées en train continu. Les billettes laminées ont une section de 37 × 37 à 50 × 50 et 9 m de longueur. Elle sont réchauffées dans un four continu Morgan à sole inclinée. Le laminoir finisseur comprend six cages. Les cages sont disposées par paires et actionnées par trois arbres tournant à des vitesses différentes: chaque paire de cylindres possède sa paire de pignons. On peut obtenir ainsi des vitesses tangentielles et des sens de rotation différents. Le but de cette disposition est d'obtenir que chaque passe dure approximativement le même temps. De la sorte, si la billette quitte le four à réchauffer à une température uniforme, le laminé — rond ou carré de 18 à 22 mm — quittera la cannelure finisseuse à une température également uniforme, et après refroidissement la barre obtenue sera d'une section parfaitement régulière. — Six hommes sont nécessaires pour effectuer les retournements des barres; aucun dispositif automatique n'a été adapté par suite de la fréquence des changements des sections laminées. La production de ce laminoir peut atteindre 400 à 450 t en vingt-quatre heures. Le moteur a une puissance normale de 1 200 ch.

Le train de 330 mm possède également comme dégrossisseuses quatre cages disposées en laminoir continu *(fig. 39, Pl. 123)*. Les billettes laminées ont de 60 × 60 à 100 × 100 de section. La barre quittant les quatre cages dégrossisseuses est dirigée au moyen de guides automatiques disposés à des niveaux différents vers les six cages du laminoir finisseur. Les

Fig. 24 - ACIÉRIE DE DUQUESNE

LAMINOIRS CONTINUS DÉGROSSISSEURS POUR TRAINS MARCHANDS



cages finisseuses forment deux groupes de trois ; chaque groupe possède une cage à pignons et des sens de rotation différents. La différence nécessaire des vitesses tangentielles correspondant aux allongements de la barre est obtenue par une variation du diamètre des cylindres. On a laminé dans ce train des barres carrées jusqu'à 51 × 51 ou leurs équivalents, et des cornières de 50 × 50 × 3,5 mm à 75 × 75 × 8,5 mm. La capacité productive de ce train est de 400 à 600 t par vingt-quatre heures. — Le moteur a une puissance normale de 1 200 ch.

Les barres quittant chacun de ces deux trains sont élevées à la partie supérieure d'une aire inclinée de refroidissement *(fig. 40, Pl. 123)*. La longueur de cette aire est de 140 m. Elle est formée de rails constituant l'aire inclinée et de barres mobiles d'arrêt à taquets. Les barres froides sont cisaillées par groupes. Elles sont amenées aux cisailles par un chemin à rouleaux actionnés, disposé à la partie inférieure de l'aire de refroidissement.

Le train de 250 mm nécessite un personnel de trente-neuf hommes, le train de 330 mm seulement deux de plus.

Ces deux trains ont produit, en mars 1905, 18 300 t.

Parcs d'expédition.

Tous les parcs d'expédition possèdent un agencement de ponts roulants en vue d'assurer la facilité et la rapidité des manutentions des tonnages énormes produits *(fig. 41, Pl. 123)*. — Une application intéressante est celle de la manutention des brames, blooms et tôles par électro-aimants *(fig 42, Pl. 123)*.

IV

CONCLUSION

Deux caractères, d'ailleurs très intimement liés, se dégagent immédiatement de l'étude des usines sidérurgiques américaines.

a) La production énorme des installations, soit par l'emploi d'éléments à tonnages élevés, soit par l'intensité et la rapidité des opérations.

b) L'agencement mécanique général en vue d'assurer toutes les manutentions; ce second caractère étant une conséquence immédiate et nécessaire du caractère précédent.

De nombreux facteurs particuliers aux États-Unis ont contribué à la fixation de ces deux caractéristiques.

Lorsqu'on étudie la sidérurgie aux États-Unis en vue d'y rechercher les adaptations possibles aux conditions européennes, il est un facteur qu'il faut prendre soin de ne pas oublier, c'est l'importance des débouchés. L'industrie sidérurgique s'est trouvée, aux États-Unis, en présence d'un pays neuf, d'une étendue considérable, où tout était à créer, dans lequel les transactions commerciales, prenant brusquement un essor rapide, ont nécessité la création immédiate de réseaux entiers de chemins de fer, de travaux d'art — ponts, etc. D'un côté, l'absence complète de tarifs douaniers entre les divers États de l'Union; de l'autre, la concurrence entre de nombreuses compagnies de chemins de fer sans monopole, concourant à la réduction maximum des frais de transport, enfin, la centralisation facile des capitaux devaient nécessairement amener la centralisation de l'industrie sidérurgique en des districts où les conditions économiques étaient plus particulièrement favorables.

Si l'on ajoute la rémunération élevée de la main-d'œuvre, le bon marché du combustible — gaz naturel, houille, coke — en même temps que l'importance des tonnages manutentionnés, on peut difficilement concevoir des conditions plus favorables au développement de tout ce qui est agencement mécanique.

Si l'industrie américaine possède dans les bassins de Pensyl-

vanie et du Lac Supérieur des sources d'approvisionnements uniques au monde en tant que masse et qualité, il ne faut cependant pas oublier que ces deux bassins sont distants de plus de 1 500 km et que les trois quarts de cette distance est parcourue sur les grands lacs où la navigation est interrompue par les glaces pendant six mois de l'année. — Dans ces conditions, on se rendra compte des difficultés colossales que les Américains eurent à résoudre pour assurer l'approvisionnement régulier d'une industrie aussi importante. L'élégance et la facilité apparente avec lesquels ils ont résolu le problème est peut-être le meilleur exemple de ce que peuvent l'audace et la ténacité américaine.

TABLE DES MATIÈRES

I. **Introduction** 317

Objet du mémoire 317

Évolution de la sidérurgie aux États-Unis 317

II. **Étude économique et statistique** 321

Les sources d'approvisionnements 321

Combustibles 321

Houille 321
Anthracite 321
Coke 324

Minerais de fer 326

Bassin minier de Pensylvanie 326
— Alabama 328
— Colorado 328
Bassin minier du Lac Supérieur 329
Historique 329
Nature des minerais 332
Méthodes d'exploitation 335
— de transport 339

Les centres sidérurgiques 345

Pittsburgh 345
Chicago 348
Alabama 349
Johnstown 349
Steelton 349
Cleveland-Buffalo 349
Sparrow's Point 350
Colorado 350

III. **Les méthodes sidérurgiques américaines** 351

Les installations de hauts fourneaux 351

Caractéristiques générales 351
Profils. — Construction 352
Approvisionnements. — Manutentions. — Chargement 355
Coulée de la fonte et du laitier. — Utilisation du laitier 360
Machines soufflantes 362
Procédé Gayley 363
Production. — Records 366

Les aciéries Bessemer 366
Caractéristiques générales 366
Service des réparations. — Service réfractaire 367
Opération. — Mode de coulée. — Halles de coulée 368
Quelques installations et leur production 370
Les aciéries Martin 373
Caractéristiques générales 373
Construction des fours 373
Dispositions d'ensemble. — Parcs de chargement. — Halles de coulée. 376
Une opération à Duquesne 378
Personnel de l'aciérie n° 3 d'Homestead 379
Production 382
Les installations de laminage 383
Caractéristiques générales 383
Réchauffage des lingots 383
Blooming. — Laminage des rails. — Aciéries Edgar Thomson à Braddock 384
Tôleries 386
Laminoirs continus 387
Parcs d'expédition 392
IV. Conclusion 393

CHRONIQUE

N° 314.

SOMMAIRE. — Les chemins de fer de l'Inde. — Allongements par flexion. — L'industrie du coke à Connellsville en 1905. — La fumée à Londres. — Le traitement des eaux d'égout.

Les écartements de voie des chemins de fer dans l'Inde. — M. F. R. Upcott a, dans une séance récente de l'Institution of Civil Engineers, traité la question des écartements de voie des chemins de fer dans l'Inde. Les deux écartements principaux sont 5,5 pieds, soit 1,657 et 1 m ; les voies de 0,76 et 0,61 m figurent pour des chiffres insignifiants.

Les points examinés par l'auteur sont les suivants :

1° Peut-on uniformiser les voies des chemins de fer indiens ?

2° Les dépenses et les difficultés qu'entraîneraient ces opérations compenseraient-elles les avantages à en retirer ?

3° Peut-on espérer réaliser tout le développement possible du trafic en conservant les écartements différents ?

Il y a une première considération dont il faut tenir compte. L'Inde est une contrée indépendante et sans voisinage de pays doués de chemins de fer, elle est donc dans les conditions d'une île et peut choisir ses écartements de voie sans être soumise à aucune influence étrangère.

Au début, les voies différentes devaient être réparties entre des régions distinctes, ce qui prévenait les inconvénients des écartements différents ; il est vrai que cette règle n'a pas été toujours observée. Enfin on doit reconnaître que, sans l'introduction de la voie de 1 m, les chemins de fer compteraient actuellement 8000 km de moins que leur développement réel :

Les longueurs totales, en exploitation ou en construction, sont :

	En exploitation.	En construction.
Voie normale de 1,657 m	23 308 km	1 870 km
Voie de 1 m	18 387	2 049
— 0,76 m.	1 281	925
— 0,61 m.	422	182
TOTAUX	43 398 km	5 026 km

L'auteur examine la question de savoir si la voie de 1 m doit être admise dans les grands ports de mer tels que Calcutta, Bombay et Kurachi, et signale la nécessité de relier ensemble les réseaux à voie de 1 m du nord et du sud.

Les avantages de la voie uniforme sont indiqués de la manière suivante :

1° Suppression des frais et embarras dus au transbordement des marchandises ;

2° Facilités d'échange du matériel roulant entre les diverses Compagnies ;

3° Avantages au point de vue stratégique, pour la concentration des troupes, les approvisionnements, les opérations militaires.

On peut réaliser l'uniformisation des voies de trois manières :

1° En transformant la voie de 1 m en voie normale ;

2° En transformant la voie normale en voie de 1 m ;

3° En ramenant les deux voies à un écartement uniforme de 8,5 pieds, soit 1,435 m voie normale ordinaire.

La première méthode donnerait une plus grande capacité de transport et permettrait des vitesses plus considérables, mais aux prix de dépenses considérables. La seconde donnerait des conditions inverses des précédentes ; quant à la troisième, il semble qu'elle serait très coûteuse, d'abord par les dépenses directes qu'elle entraînerait et par les pertes qu'elle causerait indirectement par le trouble et la confusion résultant infailliblement de la transformation totale des voies de chemins de fer du pays.

On est donc conduit à examiner la question suivante : lorsque la capacité de trafic d'une voie de 1 m est arrivée à sa limite, vaut-il mieux lui substituer une voie unique à l'écartement supérieur ou doubler la voie ? L'auteur montre par des chiffres relevés d'après les résultats d'exploitation que les deux écartements donnent lieu aux mêmes dépenses de service et peuvent donc assurer le même revenu au capital d'établissement.

Il indique le coût de la transformation de la voie de 1 m en voie normale, coût basé sur le prix d'une semblable opération, effectuée sur une longueur de 400 km. Sa conclusion est que jusqu'ici l'Inde n'a pas eu à souffrir de cette diversité d'écartements.

Le journal *Engineering* présente, à propos de cette question, des observations qu'il nous paraît intéressant de résumer brièvement. L'unification des voies dans l'Inde revient, dit-il, depuis longtemps avec la périodicité d'une comète. La voie de 1,657 m a été adoptée en 1845, à l'époque où il y avait en Angleterre la voie de 2,10 m sur le *Great Western*. En 1873, on discutait devant l'*Institution of Civil Engineers*, l'utilité de réduire cet écartement. On y revenait en 1889, alors qu'il existait déjà 8 000 km de voie de 1 m sur un total de 20 930.

L'Inde n'est pas le seul pays qui possède plusieurs écartements de voie ; le Brésil en compte 5 (1) ; le Chili autant ; la République Argentine et Cuba, 4 ; le Venezuela, le Mexique, l'Australie et plusieurs autres pays, 3.

(1) Dans la chronique de mars 1895, page 482, nous indiquions qu'il existait au Brésil onze écartements de voie, allant de 0,60 à 1,600 m. La voie de 1,435 m seule n'y était pas représentée ; la voie de 1 m était la plus répandue.

Dans plusieurs de ces contrées, les différences d'écartement sont minimes, par exemple, 0,61 m et 0,75 m; il n'en résulte aucun avantage économique et la gêne amenée par cette différence est considérable; on ne comprend donc pas pourquoi on adopte ces deux écartements si voisins; il en est de même de 1 m à 1,067 m. Les constructeurs paraissent avoir, dans bien des cas, perdu de vue ce principe que ce qui fait le caractère d'une voie ferrée, ce n'est pas tant l'écartement des rails que la nature de la voie.

On peut faire une voie de 1 m susceptible de porter un matériel roulant plus lourd et plus puissant qu'une voie normale à rails légers. Le chemin de fer du Festiniog, avec sa voie de 0,60 m donne passage à un trafic important d'ardoises et aussi de touristes, tandis que certaines lignes d'Australie, d'un écartement de deux fois et demie plus large, sont des chemins de fer légers à tous les points de vue.

A côté des écartements variés que nous venons de signaler et qui coexistent dans certains pays, on peut citer le Canada et les États-Unis, où on a, à grands frais, rétabli l'uniformité des voies, après une expérience prolongée des écartements différents; le Sud de l'Afrique où il n'y a pratiquement pas d'autre voie que celle de 3,5 pieds, 1,067 m; le Japon et la Nouvelle-Zelande qui ont adopté cet écartement. Un des avantages de cette solution est qu'on n'est pas exposé à être obligé d'établir une solution mixte, c'est-à-dire la juxtaposition des deux voies sur certaines sections, solution des plus gênantes si les écartements diffèrent peu et plus facile dans le contraire, comme on en a eu l'exemple au Great Western.

Dans les Nouvelles-Galles du Sud et dans la Colonie de Victoria, on avait adopté à l'origine les voies de 1,435 m et 1,60 m respectivement. Aujourd'hui, on se propose d'établir la voie de 1,435 m dans la Colonie de Victoria pour permettre aux trains express d'aller, sans changement, de Sydney à Melbourne, mais il n'est pas possible de faire la modification dans les stations à cause des changements de voie, où il n'y a pas de place pour poser les nouveaux rails; on devra, en conséquence, dévier la voie de 1,435 m à l'approche des stations pour la faire passer en dehors de celles-ci; on sera entraîné à des remaniements coûteux de ces stations et à des achats onéreux de terrains. On estimait à 75 à 80 millions de francs, le coût de l'unification complète de ces deux voies qui ne diffèrent l'une de l'autre que de 0,165 m.

Ce ne serait pas arrivé si, au début des chemins de fer en Australie, on n'avait pas confié la direction des affaires à des gens qu'on peut faire apprécier par le dicton japonais : ils ne savent rien et ils ne s'en doutent pas.

On peut dire en faveur de l'uniformité d'écartement que, si la question du transbordement n'est pas facile à apprécier, et que souvent, les frais auxquels ce transbordement donne lieu sont assez faibles, en revanche, elle a d'énormes avantages, surtout au point de vue stratégique, sans compter la possibilité d'user sur les ligne secondaires le matériel démodé, etc.

Les partisans de la voie étroite invoquaient la meilleure utilisation du matériel par suite du rapport plus élevé de la charge payante au

poids mort; cette prétention ne s'est pas trouvée justifiée dans l'Inde et une expérience de trente années a prouvé que les résultats financiers sont les mêmes pour les deux voies. L'explication du fait est très simple, cela dépend de la nature du trafic. Dans l'Inde, comme dans la plupart des colonies importantes, il y a à transporter des masses énormes de marchandises de grand volume et faible poids, coton, laine, bestiaux, etc.; on ne peut jamais, avec cette nature de transport, utiliser la capacité de port au point de vue du poids; il n'y a donc aucun intérêt à une meilleure utilisation de celle-ci; et la supériorité de la voie étroite, si réellement elle existe à ce point de vue, ne lui assure aucun avantage.

La question peut se résumer de la manière suivante :

La voie étroite peut, même au prix d'un transbordement, se justifier dans les cas suivants :

1° Dans un pays peu étendu, sans voisinage, où on ne prévoit pas dans un avenir prochain la nécessité d'établir des trains express, exemple la Tasmanie et quelques îles en Europe;

2° Dans une contrée montagneuse où l'emploi de courbes de faible rayon peut réduire dans une large mesure les dépenses d'établissement et si le trafic consiste en marchandises de forte densité, exemple, les lignes de Darjiling et du Nilgiri, dans l'Inde, et du Festiniog, en Angleterre.

Les mêmes conditions se rencontrent souvent en France et en Belgique. Hors ces cas, il est préférable d'avoir un écartement uniforme, quitte à équiper les lignes à faible trafic d'une manière économique en réservant la possibilité de les renforcer lorsque le besoin s'en fera sentir. De cette manière, on ne dépensera pas beaucoup plus, à trafic égal, qu'avec la voie étroite, parce que les frais d'établissement dépendent beaucoup plus de la charge par essieu des machines que de l'écartement des rails.

Allongements par flexion. — Le *Journal de Physique théorique et appliquée*, de décembre 1905, contient une note de MM. Bonasse et Berthier, sur les allongements par flexion dont il nous paraît intéressant de donner un résumé succinct.

Le fait est le suivant : quand on cherche à allonger un fil raide, soit par traction simple, soit par flexion, on rencontre un curieux paradoxe : Un fil qu'on ne peut allonger d'un millième par traction simple sans qu'il ne casse, se laisse aisément allonger de 10, de 20 0/0 par flexion. Il semble que des allongements notables soient particulièrement difficiles à obtenir en utilisant des déformations homogènes et, qu'au contraire, la déformation successive et continue de parties voisines puisse être obtenue plus aisément. C'est ce phénomène que les auteurs étudient dans la note dont nous nous occupons.

Ils se sont servis de fil de fer aciéreux fortement étiré à la filière et de 1,18 μ environ de diamètre, l'aire de sa section droite est donc voisine de 1,094 mm^2 ; on a constaté que ce fil cassait toujours sous une charge inférieure à 80 kg et un allongement permanent inférieur à un mil-

lième. On enroule alors et déroule systématiquement des bouts sur des cylindres de fer à axe horizontal, le diamètre 2R de ces cylindres variant ainsi que la charge P sous laquelle s'opèrent l'enroulement et le déroulement ; on constate alors des allongements successifs dont le tableau suivant peut donner une idée :

Poids P = 5 kg.	Allongements	4	4	3	3	3	3	3	3
— 10	—	13	11	10	10	11	11	11	11
— 20	—	33	29	30	31	32	33		
— 30	—	52	48						

On voit que l'allongement va plus vite que le poids qui produit la tension ; il s'annule sensiblement, quel que soit le rayon R, si la charge s'annule. Toutefois, pour des raisons qui sont développées dans un autre travail. la tension réelle du fil est très inférieure à la charge, tant que celle-ci reste petite. Peut-être existerait-il une proportionnalité plus exacte entre la tension réelle et l'allongement.

On remarquera l'énormité des allongements obtenus par enroulement et déroulement, c'est-à-dire par flexions successives dans les deux sens contraires. Sous 20 kg, un fil qui ne peut sans casser s'allonger de plus d'un millième par traction directe, a passé en huit opérations de 1,54 à 1,91 m, soit un allongement de 0,37 m, ce qui correspond à 24 0/0 de la longueur initiale. En deux opérations, sous 30 kg, le fil s'allonge de 10 0/0 de la longueur initiale.

Étant constaté qu'on peut obtenir par enroulement et déroulement des allongements énormes avec un fil qui, par traction simple, casserait sans allongement sensible, il est naturel de se demander si ce sont là de véritables déformations permanentes ou s'il se produit des failles, des brisures, comme on en constate dans certains cas sur les parties extérieures de matières trop fortement fléchies.

L'étude micrographique de la surface ne fournit, à ce sujet rien de bien concluant, il semble qu'il se produise une modification du module de torsion du fil après des enroulements et déroulements successifs. Les auteurs ont fait des expériences qui prouvent une modification de la matière du fil par ces opérations successives, par le fait que le module de torsion croît régulièrement à mesure que la charge et, par conséquent, l'allongement croissent.

Nous renvoyons à la note elle-même, pour le détail de ces expériences.

La possibilité d'obtenir par flexion des allongements impossibles à produire par traction simple étonne moins quand on réfléchit aux effets obtenus avec la filière et le laminoir. Il est vrai que, dans un de ces derniers cas, le métal est soutenu, tandis qu'il l'est à peine dans l'enroulement et le déroulement.

En définitive, la rupture d'un fil par traction simple ne provient pas d'une impossibilité organique de s'allonger, mais de son défaut d'homogénéité, soit géométrique, soit matérielle. Quand les déformations se font point par point, les effets de cette hétérogénéité disparaissent à peu près complètement.

L'industrie du coke à Connellsville en 1905. — Les régions de Connellsville et du bas Connellsville ont ensemble produit, en 1905, une quantité totale de 17 896 526 t de coke; ce chiffre dépasse de plusieurs millions tous ceux qui avaient été enregistrés jusque-là. On en fera mieux comprendre l'importance en disant que c'est ce qu'on obtiendrait en convertissant en coke les deux tiers de la production actuelle de la France en combustibles minéraux.

En 1904, les deux régions n'avaient donné ensemble que 12 427 500 t et, en 1903, un total de 13 500 000 t; il y a donc eu une reprise très importante en 1905 et la fabrication a été très animée d'un bout de l'année à l'autre.

Le nombre des fours, qui était de 7 211 en 1880, était monté à 20 954 en 1900. Depuis, il y a eu encore un accroissement considérable qu'on peut apprécier par les chiffres suivants : 1901, 21 575 fours; 1902, 26 329; 1903, 28 092; 1904, 29 119 et 1905, 30 842.

Les prix moyens du coke ont subi dans ces dernières années des fluctuations très notables; ainsi, en 1905, le coke valait 11,75 f; en 1904, 9,10 f; en 1903, 15,60 f; en 1902, 12,30 f; en 1901, 10,40 f; en 1900, 14.05 f et en 1899, 10,40 f.

Le plus bas prix connu a été en 1894 où il était descendu à 5,20 f; le prix le plus élevé est celui de 1903.

A la fin de 1904, les régions dont nous nous occupons faisaient environ 325 000 t de coke par semaine; cette production était à la fin de 1905 de 377 000 t, ce qui représente un excédent de 50 000 t sur l'année précédente. Si on examine la répartition de cette fabrication entre les divers mois de l'année, on trouve que les premiers mois ont été relativement faibles. Ainsi, en janvier, on a produit 1 115 000 t; en février, 10 000 t de plus et en mars 20 000 t; mais en avril, le chiffre augmente de 300 000; en mai d'un peu plus de 200 000 et de même pour juin. En juillet la production atteint 1 230 000 t; elle baisse en août comme cela arrive d'ordinaire dans les mois les plus chauds de l'année, et elle revient dans les derniers mois à dépasser 1 million de tonnes par mois. La production constatée correspond à un chiffre mensuel de 1 500 000 t.

En 1905, les expéditions se sont effectuées à raison de 1 886 wagons en moyenne par jour; pendant plusieurs mois, ce chiffre a dépassé une moyenne de 2 000; en 1904, on n'avait expédié en moyenne que 1 623 wagons par jour; en 1903, 1 782 et en 1902, 1 986. Mais cette comparaison ne doit pas être prise au pied de la lettre, parce que la capacité des wagons qui transportent le coke des fours aux hauts fourneaux a considérablement augmenté dans ces derniers temps. Cette capacité était, il y a quelques années, de 18 t; aujourd'hui, on emploie des wagons en acier d'une capacité de 50 t pour charger le coke à Connellsville; on a toutefois encore beaucoup de petits wagons en bois qui maintiennent la moyenne assez basse, mais elle ira en augmentant à mesure que ces véhicules du passé viendront à disparaître.

Les 30 000 ouvriers engagés dans la fabrication du coke ont eu leurs salaires relevés dans le courant de 1905. La Compagnie Frick a pris l'initiative de ce relèvement dès le 1er mars; les autres Compagnies ont suivi cet exemple.

Si la production du coke dans les régions de Connellsville a augmenté considérablement, la demande n'est pas restée en arrière. On a allumé beaucoup de nouveaux hauts fourneaux ; le nombre de ces appareils en activité en 1905 est beaucoup plus grand qu'en 1904.

La consommation de la Steel Corporation s'accroît rapidement, ce qui s'explique par la construction de nouvelles aciéries par la Compagnie Frick et les autres Compagnies qui font partie de la Corporation.

La fumée à Londres. — Il y a eu à Londres, vers Noël dernier, une exposition d'appareils fumivores pendant laquelle des conférences ont été faites sur la question de la suppression de la fumée. L'exposition a été visitée et les conférences suivies avec l'intérêt que mérite le sujet ; toutefois il a été difficile de trouver dans la première quoi que ce soit de nouveau en principe ou en application, et les conférenciers n'ont fait que resservir les vieilles théories en les rajeunissant plus ou moins au gré des exigences modernes.

On voyait ainsi une foule d'appareils de chauffage domestique brûlant avec un feu clair et vif comme doit le faire dans une exposition tout foyer breveté qui se respecte, quitte, une fois installé dans une maison et alimenté avec du combustible non choisi, à se comporter d'une manière infiniment moins satisfaisante. C'est une règle qui ne souffre pas d'exceptions, il est inutile d'insister.

Même à l'époque où on avait le plus à se plaindre des foyers industriels, on peut affirmer que la plus forte proportion de la fumée, à Londres, provenait du chauffage domestique, et la réduction très importante qui s'est produite dans cet inconvénient vient beaucoup plus de l'amélioration qui s'est produite dans le chauffage des habitations que de progrès réalisés dans la combustion des foyers des fabriques.

Il y a dix ou douze ans, un coup d'œil jeté au-dessus des toits d'une portion moyenne de Londres faisait voir qu'une cheminée au moins par maison lançait une colonne de fumée dense pendant quinze heures sur vingt-quatre dans une atmosphère déjà fortement chargée de particules charbonneuses.

Aujourd'hui, sauf peut-être dans les quartiers les plus aristocratiques, la plupart des maisons ne donnent plus de fumée, même dans les temps froids, et il y a à cela deux raisons. La première est que depuis la hausse des loyers et des gages des domestiques, il s'est produit un énorme développement de la cuisine au gaz qui est plus propre, exige moins de main-d'œuvre, est plus commode et peut se faire dans des locaux moins spacieux. Si le gaz est un combustible un peu plus coûteux que le charbon, la différence est bien vite rattrapée, surtout dans les grands établissements, par les économies réalisées sur les gages, le logement et la nourriture du personnel de service.

La seconde raison est due au succès obtenu par le compteur automatique ; l'emploi de ces appareils a entièrement rallié à l'usage du gaz la classe des ouvriers et petits employés qui sont devenus de fidèles clients des Compagnies gazières.

Si on examine en détail les statistiques fournies par les trois principales Compagnies de gaz de la métropole, on constate que plus de la

moitié des consommateurs de gaz le prennent dans des compteurs automatiques où on introduit un penny pour obtenir la quantité correspondante de gaz. Les Compagnies installent les canalisations dans les maisons et fournissent les compteurs et les fourneaux, et le consommateur n'a pas autre chose à payer que le penny qu'il introduit dans la fente de l'appareil lorsqu'il a besoin de gaz. Il est certain que ce système est un peu plus coûteux que le système ordinaire, mais le consommateur n'a à débourser son argent qu'au moment où il se sert de gaz et en quantité correspondante à ce qu'il emploie, et c'est là le secret de la popularité du système. Sur le total des autres consommateurs, les trois quarts se servent de fourneaux de cuisine au gaz. On estime que le nombre des abonnés des trois Compagnies gazières est de 234 000. Si on compte que la population de Londres est de 5 millions d'habitants, en admettant en moyenne quatre abonnés par maison, on peut voir combien la consommation du charbon pour les usages domestiques s'est trouvée réduite depuis quelques années.

Sir George Livesey, une autorité reconnue dans les questions gazières, dans une conférence faite sur le sujet, a profité de l'occasion pour appuyer les demandes que font les Compagnies du gaz à Londres pour faire du gaz moins cher. Un acte du Parlement prescrit un pouvoir éclairant minimum et le County Council est chargé de veiller à l'observation de ces prescriptions. Or, avec l'emploi des manchons à incandescence, le pouvoir éclairant du gaz lui-même ne présente plus d'intérêt et la dépense faite pour lui assurer ce pouvoir éclairant est de l'argent absolument perdu. Les Compagnies demandent donc à être autorisées à abaisser le pouvoir éclairant à 8 bougies, offrant de réduire le prix de vente du gaz de manière à le mettre à même de lutter avec le charbon comme prix, avec, en outre, les avantages de la propreté et de l'absence de main-d'œuvre.

Les autorités municipales résistent en disant que les classes pauvres n'ont pas les moyens d'installer des appareils à incandescence à la place de ceux qu'elles possèdent. Les Compagnies répondent qu'elles sont prêtes à faire le changement, à leurs frais, comme elles ont fait pour les compteurs automatiques et les fourneaux au gaz. La question se simplifierait donc s'il n'y avait dans la coulisse toute une armée d'inspecteurs municipaux chargés du contrôle du gaz et dont les services ne seraient plus nécessaires, car le titre de 8 bougies est le plus bas qu'il soit économique de produire. C'est probablement là le secret de la difficulté.

La consommation annuelle de charbon, à Londres, s'élève à environ 15 millions de tonnes, et il se produit au moins 100 000 t de suie dans le même laps de temps. Après une semaine de brouillard, Sir W. Thiselton, Directeur du Jardin Botanique de Kew, a trouvé sur ses serres un dépôt goudronneux représentant un poids de 30500 kg par kilomètre carré. Une atmosphère aussi chargée de particules charbonneuses doit être mortelle pour les microbes et doit rendre Londres la ville la plus saine du monde. A moins d'admettre qu'il ne vient s'établir à Londres que des jeunes gens et qu'il n'en sort que des vieillards, il est de fait que la métropole n'a point sa part normale de décès. Il est vrai qu'on

prétend que les statistiques, comme les oracles de l'antiquité, disent ce qu'on veut leur faire dire.

Les propriétés antiseptiques des gaz incomplètement brûlés sont bien reconnues et il faut espérer qu'il n'y aura pas dans ce fait de source d'opposition à la faveur croissante dont jouit l'idée de faire le gaz sur le carreau des mines et de l'amener dans des conduites sous pression aux lieux de consommation. M. Arthur J. Martin a calculé que le gaz pourrait être conduit à Londres moyennant une dépense d'un penny par 1 000 pieds cubes, ce qui correspond à un tiers de centime par mètre cube, prix inférieur à la dépense correspondante du transport du charbon à la même distance. La génération suivante verra Londres devenue une ville sans fumée, mais autant qu'on peut le prévoir, il y aura toujours du brouillard, les promoteurs du mouvement contre la suppression de la fumée n'y peuvent rien.

En somme, grâce à des changements, qu'on peut dire spontanés, dans la nature du combustible employé pour les besoins domestiques et sans aucun recours à des mesures restrictives plus ou moins attentatoires à la liberté individuelle, Londres n'est pas actuellement une ville plus affligée de fumée qu'aucune autre placée dans les mêmes conditions et brûlant autant de charbon gras par unité de surface. Il faudrait que la situation fût beaucoup plus mauvaise pour que les habitants se soumissent à des règlements aussi sévères que ceux de New-York, qui édictent des pénalités de 25 f par jour pour ceux qui brûlent du charbon gras dans les limites de la ville. Nous extrayons ce qui précède de l'*Indian Engineering*.

Le traitement des eaux d'égout. — Nous trouvons dans l'*Engineering Record*, le résumé d'une communication récente faite par M. George W. Fuller, à l'Association Sanitaire de New-Jersey sur la pratique actuelle du traitement des eaux d'égout et les tendances qui se manifestent dans la question.

L'auteur traite d'abord le sujet de l'infection des coquillages. La Commission anglaise des eaux d'égout a, dans un rapport fait, il y a un an et demi ou deux ans, sur l'infection des coquillages, déclaré qu'à Londres et à Manchester on avait constaté, à la suite d'enquêtes faites avec beaucoup de soin, que 8 à 10 0/0 des cas de fièvre typhoïde observée dans ces villes étaient dus à la consommation de mollusques malsains. Dans certaines localités sur les bords de la mer, cette proportion s'est élevée à 50 0/0 et plus.

Bien qu'on ait étudié depuis plusieurs années les moyens de remédier à ce danger, la question est loin d'être résolue, ce qui tient, en grande partie, à ce que dans bien des endroits, la pollution de l'eau de mer est légère ou intermittente; si cette pollution est excessive, le remède est simple. L'auteur cite les travaux exécutés par le Bureau Sanitaire de l'État de Massachusetts dans ces dernières années, relativement à la question de l'empoisonnement des coquillages par les eaux d'égout, travaux qui présentent un intérêt considérable.

La manière dont on se débarrasse de ces eaux dans les localités sises au bord de la mer, a, presque partout, besoin d'être améliorée. On se

borne généralement à les diluer dans l'eau de mer en les envoyant dans des endroits où la marée se fait sentir, côtes, baies ou embouchures de rivières.

Cette méthode, si on emploie quelques précautions simples, donne satisfaction au point de vue de l'hygiène générale, mais souvent on ne prend pas ces précautions, notamment sur la côte des États-Unis, sur l'Atlantique. Un des points qui porte le plus à la critique dans la méthode par dilution est que le sewage n'est trop souvent pas envoyé directement dans l'eau profonde; les égouts débouchent dans des endroits qui assèchent presque à basse mer, de sorte que l'eau polluée séjourne dans ces bas fonds sans être suffisamment diluée et sans être immédiatement entraînée au large.

On peut dire que la localité la mieux située au point de vue de la facilité de dilution du sewage dans l'eau de mer est la partie de la ville de New-York située dans l'île de Manhattan. Il ne serait besoin, pour la rendre parfaite, que d'étendre un peu le débouché des égouts pour faire arriver les eaux polluées à une assez grande profondeur sous la surface.

Là où la question des coquillages n'est pas en jeu, la méthode de la dilution prévaudra encore probablement pendant longtemps. Il y a toutefois des perfectionnements à y apporter. On doit d'abord séparer de l'eau les portions solides en suspension de dimensions visibles, puis il y a à se préoccuper de la suppression de l'odeur et de la couche graisseuse qui couvre l'eau dans le voisinage du débouché de l'égout; ces inconvénients se font sentir dans la proportion du volume d'eau qui est rejeté. Dès lors, quel est le volume qu'on peut rejeter par une seule bouche? C'est une question à débattre. A Deer Island, dans le port de Boston, il est déchargé par jour à la mer 200 000 m³ de sewage. Il est rare que l'odeur se fasse sentir à plus de 400 m du débouché de l'égout. C'est à peu près la même distance que pour les grandes installations d'épuration de sewage en Europe. Quant à la couche de graisse sur la surface de l'eau, on peut l'observer par un temps calme sur une étendue de 2 km au plus. On a proposé des moyens pour enlever cette graisse et d'autres pour aérer le sewage pour lui ôter son odeur; il y a là de vastes champs de recherches. Si on réussit dans cette voie, ce sera probablement bien moins coûteux que l'épuration complète du sewage.

S'il existe des bancs de coquillages sur les côtes, on doit disposer des eaux d'égouts en tenant compte, d'une part, de la valeur commerciale de ces coquillages, et de l'autre du coût des méthodes de traitement des eaux. Si les huîtres et coquilles ne représentent que peu d'argent, il n'est pas nécessaire d'en dépenser beaucoup pour empêcher le sewage de les contaminer. Mais si, au contraire, les bancs ont une grande valeur et que la dépense pour l'épuration ne soit pas trop élevée, il est logique de ne pas envoyer les eaux polluées à la mer et de leur faire subir un traitement à terre. Il se rencontre évidemment des cas intermédiaires pour lesquels une étude spéciale doit être faite pour faire reconnaître la solution la plus avantageuse.

La première méthode qu'indique M. Fuller pour le traitement artificiel du sewage est la sédimentation, qui consiste à laisser couler les eaux d'égout dans des réservoirs peu profonds d'une capacité correspon-

dante au volume débité pendant une période de deux à douze heures. Il se dépose dans ces bassins de 50 à 70 0/0 des matières en suspension les plus grossières et aussi la même proportion de bactéries. Cette méthode ne constitue pas un procédé d'épuration proprement dite, mais simplement de clarification, mais elle a sa raison d'être en ce que, par la séparation des particules les plus grossières, elle facilite l'opération ultérieure de la filtration. Cette décantation a une sorte de rapport avec la méthode de précipitation chimique qui est employée dans certains endroits aux États-Unis et en Europe, mais avec cette différence que cette dernière est plus efficace et réduit de 80 à 90 0/0 la proportion des matières en suspension et des bactéries.

Ce qu'on appelle le traitement septique n'est autre chose que la décantation avec cette modification qu'on n'enlève pas le dépôt mais qu'on le laisse un temps considérable sur le fond des bassins pour qu'il se putréfie sous l'influence des bactéries. Grâce à cette putréfaction, la moitié environ du dépôt devient liquide ou gazeuse. On peut donc considérer la méthode septique comme un traitement préparatoire qui, amène le sewage sous une forme qui facilite grandement la filtration et réduit le coût de l'écoulement des dépôts.

La quantité totale des matières organiques contenues dans les eaux d'égout est réduite d'un tiers par la sédimentation et par le traitement septique et de moitié par la précipitation chimique. Les résidus de ces divers traitements sont encore putrescibles et, comme on l'a indiqué, exigent une filtration ultérieure; il y a toutefois des cas où les traitements préparatoires peuvent suffire à les rendre inoffensifs.

Le procédé de la filtration intermittente à travers le sable est bien connu depuis les expériences de Lawrence et par les quinze à vingt installations faites par cette méthode dans la Nouvelle-Angleterre. On y a également développé l'emploi des filtres à gros grains également expérimentés à Lawrence et employés aux États-Unis et en Allemagne. Ces filtres qu'on désigne sous le nom de filtres par contact ou filtres à aspersion constituent un grand pas dans la question, surtout pour les villes qui ont dans leur voisinage de grandes étendues de terrains sablonneux.

Pour les villes de faible ou moyenne importance où se trouvent facilement des sables grossiers, la meilleure méthode d'épuration consiste en une filtration intermittente par le sable si les effluents doivent être très épurés; si les filtres ne sont pas surchargés, l'eau sort claire, sans odeur et avec une proportion de bactéries réduite à 1 centième. Les matières organiques contenues dans le sewage descendent à un taux très inférieur à celui qui correspond à un effluent non putrescible. 1 ha de terrain suffit pour traiter les eaux d'égout correspondant à une population de 1 500 à 2000 habitants suivant la porosité du sol, les soins apportés dans le filtrage, le traitement préparatoire des eaux, etc. On peut dépasser ces chiffres, mais il faut plus de soins et plus de dépenses pour empêcher la surface des filtres de s'engorger en hiver.

L'expérience a d'ailleurs fait voir que la filtration intermittente dans le sable est beaucoup plus coûteuse qu'on ne le supposait. Ainsi on a reconnu dans le Massachusetts, par une pratique de dix années, que la

filtration par le sable représente en moyenne, une dépense de 2,50 f par tête d'habitant et par an, dépense qui se partage à peu près également entre l'intérêt à 5 0/0 du capital d'établissement et les dépenses de service. Ce chiffre est naturellement indépendant de ceux qui correspondent au service des égouts et aux frais de pompage des eaux qui en proviennent; il ne s'applique qu'à l'épuration proprement dite.

Si on n'a pas besoin d'avoir des effluents très épurés au point de vue des bactéries, on peut employer avantageusement les filtres à gros grains qui suffisent pour donner des eaux non putrescibles. Ces filtres sont moins coûteux que les filtres à sable, lorsqu'on ne trouve pas à proximité du sable convenable et même quelquefois quand on peut en avoir.

Des faits récents ont amené à conclure que les filtres à gros grains ont un champ d'application bien plus étendu qu'on ne le supposait lorsqu'on veut obtenir une épuration bactérienne élevée. Les filtres à contact rendent de grands services avec un traitement préparatoire des eaux et peuvent donner un effluent ne contenant plus que 50 par million des matières en suspension et 10 0/0 des bactéries contenues dans l'eau d'égout primitive. Un liquide de ce genre peut être comparé avec l'eau trouble d'une rivière dans laquelle on a déversé du sewage. En d'autres termes, les filtres à gros grains amènent le sewage à un état tel qu'il n'a plus qu'à subir un traitement semblable à celui qu'on fait recevoir à de l'eau trouble de rivière pour la rendre potable, c'est-à-dire une simple filtration. Une opération de ce genre, d'après l'expérience acquise depuis dix ans, est parfaitement capable d'amener les eaux sortant des filtres à gros grains à une pureté au point de vue bactéries égale à celle qu'on obtient avec les filtres à sable intermittents et ce traitement combiné est beaucoup plus économique que l'autre pour les grandes installations, même si on a du sable en abondance à proximité.

L'emploi du sulfate de cuivre ou d'autres matières germinicides pour les effluents des filtres à gros grains constitue un autre moyen d'obtenir une eau très épurée. Mais il est probablement plus coûteux et pas plus efficace que la filtration finale dont nous venons de parler. Il a toutefois une valeur sérieuse pour les petites installations.

Toutes les considérations qui viennent d'être exposées s'appliquen aux eaux d'égout domestiques, ne contenant qu'une faible proportion de résidus de fabriques. Si ces derniers dominent, les difficultés augmentent et les dépenses en même temps. Comme la nature de ces résidus varie beaucoup il faudrait étudier chaque cas particulier et il est impossible de rien dire de général à cet égard.

Quant à la capacité et à la disposition des filtres à gros grains, on a des données très importantes, par suite de l'expérience acquise avec ces filtres depuis six ou huit ans à l'étranger; on en a aussi provenant des États-Unis, mais la nature des eaux et les conditions climatériques sont si différentes qu'on ne peut se fier entièrement pour l'Amérique a des chiffres recueillis ailleurs. La ville de Columbus, dans l'Ohio, à notamment fourni des données très utiles sur les diverses méthodes d'épuration.

Les filtres à gros grains, quel que soit leur type particulier, doivent

toujours se composer d'une matière compacte qui ne se désagrège pas. On leur donne généralement une épaisseur de 0,90 à 1,50 m, on va quelquefois même jusqu'à 2,50 m. Pour les filtres à contact, les grains doivent avoir de 3 à 25 mm, et pour les filtres à aspersion de 12 à 50 mm. Avec ces derniers, l'eau est projetée en pluie par des pommes d'arrosoirs ou par des tuyaux perforés tournants comme ceux qu'on emploie pour l'arrosage des pelouses.

La ville de Columbus, dont il vient d'être question, a voté il y a deux ans une somme de 6 millions de francs pour l'amélioration du service des égouts, y compris l'épuration. Pour déterminer le meilleur moyen de réaliser la non-putrescibilité des effluents au moindre coût, on a décidé de consacrer une somme de 250 000 f, soit approximativement l'intérêt d'un an des 6 millions, à faire une série d'essais sur le sewage de la ville. Les essais ont commencé il y a dix-huit mois et ont duré un an; ils ont porté sur pas moins d'une quarantaine de méthodes différentes. Les résultats sont contenus dans un rapport qui est terminé et sera publié d'ici à quelques mois; ce sera un document des plus utiles pour ces questions, car on y trouve des indications très détaillées sur tous les éléments tels que dépôts solides, proportions des matières organiques et des bactéries dans le sewage et dans les effluents pour chaque cas.

Pour résumer, on peut dire que le meilleur traitement préparatoire des eaux d'égout consiste dans l'emploi de bassins septiques contenant à peu près le produit de huit heures. On recueille ainsi les deux tiers environ des bactéries et matières en suspension dans le sewage. La moitié de ce qui reste de matières solides passe à l'état liquide ou gazeux; on n'a aucun inconvénient sous le rapport des odeurs. On procède ensuite par filtrage du résidu liquide avec des filtres à aspersion à raison de 20 000 m³ par hectare et par jour. Avec cette proportion, on ne rencontre aucune difficulté, en hiver, même dans le climat très dur de Columbus. On peut ainsi obtenir une eau imputrescible ne contenant pas plus de 10 0/0 de la proportion primitive de bactéries. Des filtres à contact peuvent donner les mêmes résultats, mais à la condition de n'y faire passer que du quart au tiers de volume d'eau que peuvent absorber les précédents; ils sont d'ailleurs plus sujets à s'engorger, parce que dans la projection de l'eau par les filtres à aspersion, il se produit une action mécanique pour briser les croûtes qui se forment pendant le repos d'une semaine.

La ville de Columbus vient de mettre en adjudication une installation de ce genre, pour traiter 80 000 m³ par jour au prix de 2 200 000 f, non compris les pompes et conduites pour amener le sewage à l'usine d'épuration.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JANVIER 1906.

Séance générale du 22 décembre 1905. — Distribution des prix et médailles.

Rapport de M. LARIVIÈRE sur le **chauffe-bain** de M. MOLAS.

Les appareils dits chauffe-bains présentent le sérieux inconvénient d'emprunter en général l'air nécessaire à la combustion des gaz au milieu même dans lequel ils sont installés et, comme le local est le plus souvent peu ou point ventilé, il en résulte une combustion défectueuse et la formation d'oxyde de carbone laquelle peut occasionner de graves accidents.

Le principe de l'appareil de M. Molas consiste à alimenter la combustion par de l'air pris au dehors de la pièce au moyen d'un tuyau concentrique ou non à celui par lequel se fait l'évacuation des gaz.

Le chauffe-bain se compose d'une petite chaudière tubulaire chauffée par des brûleurs, le tout contenu dans une enveloppe en tôle ondulée. L'air arrive à cette enveloppe par un tuyau communiquant avec le dehors et les produits de la combustion s'échappent par un tube concentrique au premier. Ce système constitue un perfectionnement important au point de vue de l'hygiène.

Rapport de M. VIOLLE sur la **grille dite récupératrice** de M. Guët.

C'est une grille ordinaire à laquelle est ajouté un appareil de récupération pour chauffer l'air en le faisant circuler dans des tubes chauffés par le foyer, cet air est pris à la partie inférieure de la pièce. On a constaté, par des expériences, que, avec l'emploi de cet appareil, le coefficient d'utilisation du combustible (c'était de l'anthracite) avait doublé. L'idée paraît donc intéressante.

Explosion d'une locomotive aux environs de la gare Saint-Lazare. Note de M. L. PÉRISSÉ, observations de M. R. DUBOIS et de M. H. LE CHATELIER.

Notes économiques, par M. A. ALFASSA, sur la prohibition de l'emploi de la céruse.

Cette note donne d'abord un historique de la question des inconvénients de la céruse, signalés dès 1701 par un médecin italien, Romazzini, dans un ouvrage sur les maladies des artisans. Le remplacement de la céruse par l'oxyde de zinc a été indiqué pour la première fois par

Courtois, en 1770; mais le prix de l'oxyde, à cette époque, était une objection de première importance qui n'existe plus aujourd'hui. On fit pourtant dès le début, des critiques de l'oxyde de zinc et, dès 1786, le maréchal de Castries, ministre de la Marine, désignait une commission officielle pour étudier la question. Celle-ci ne fit d'ailleurs aucun progrès. C'est Leclaire qui, en 1844, mit l'oxyde de zinc en état de lutter avec la céruse. On sait que le prix Montyon récompensa cette initiative. La question a été reprise récemment et la note donne des détails très complets sur la situation actuelle.

Après cet historique, l'auteur discute les raisons de l'opposition qu'on fait à la suppression de la céruse en insistant sur la confusion qu'on fait très souvent entre deux points très distincts, la fabrication de la céruse et son emploi. Ses conclusions sont qu'aucune objection sérieuse ne peut être formulée contre la prohibition de l'emploi de la céruse quel que soit le point de vue envisagé.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Nous trouvons dans ces notes les questions suivantes : le rôle du manganèse dans la nature; la chaux azote, la production de reflets métalliques à la surface des poteries, les carbonyferrocyanures, la consommation du gaz à l'eau carburé, l'incandescence au gaz de houille et au gaz d'huile, les récents progrès de l'électrochimie, la fabrication en France du camphre artificiel, l'oxydation des huiles, la pasteurisation du lait, l'arsenic dans les vins, etc.

Utilisation de l'azote atmosphérique, d'après le docteur Albert Neuburger (Extrait des *Zeitschrift für angewandte Chemie).*

En considérant l'état actuel des divers travaux entrepris pour utiliser l'azote de l'air, l'auteur est conduit à les diviser d'une manière générale en quatre classes suivant les moyens employés pour atteindre le but. Ces classes sont : 1° la production des azotures; 2° la production de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux; 3° la production des cyanures et dérivés; 4° la production des composés oxygénés de l'azote et des composés qu'on peut en déduire directement, soit, en première ligne, les acides nitrique et nitreux. La production des azotures est celle qui a donné lieu jusqu'ici au plus petit nombre de travaux, tandis que le plus grand nombre se rapporte à la fabrication des acides oxygénés de l'azote.

La note étudie successivement en détail ces quatre ordres d'idées.

Procès-verbal de la séance du comité de chimie du 12 décembre 1905.

Notes de mécanique. — On trouve sous cette rubrique : la description d'une fosse d'essais pour locomotives des ateliers de Swindon du Great Western Railway; une note sur le cisaillement des métaux et des bois, et une sur l'emploi du tube de Pitot pour la détermination de la vitesse des gaz dans les tuyaux.

SOCIETE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Février 1906.

District de Bourgogne.

Réunion du 22 octobre 1905.

Communication de M. Botton sur **les ciments et la chaux hydraulique.**

L'auteur débute par exposer celles des théories émises sur les produits hydrauliques qui restent aujourd'hui en présence, l'une, physique, expliquant que le durcissement est dû à des phénomènes physiques provenant du contact des particules mises en jeu, l'autre, chimique, basée sur ce que le durcissement est dû à des phénomènes chimiques.

La note passe ensuite en revue les procédés de fabrication et procède à l'étude des produits hydrauliques et des essais auxquels on doit les soumettre. Une autre partie suit, qui est consacrée à l'étude de l'emploi de ces produits, et un des chapitres les plus intéressants est celui qui s'occupe du ciment armé. On y rappelle que la combinaison rationnelle du ciment et du fer repose sur les faits suivants : égalité entre les coefficients de dilatation du fer et du ciment ; impossibilité d'oxydation du fer noyé dans les mortiers de ciment et adhérence très grande entre le fer et le ciment.

Communication de M. de Morgues sur **les recherches sur l'ankylostomiase dans le bassin de Blanzy.**

Des recherches minutieuses ont fait constater l'absence de l'ankylostomiase dans le bassin de Blanzy. On peut, au moins en partie, attribuer ce fait au mode de recrutement, essentiellement régional, des ouvriers et aux conditions d'hygiène dans lesquelles ils vivent. Sans aller jusqu'à dire qu'il n'y ait rien à faire pour prévoir le mal, il ne semble cependant pas qu'il y ait lieu, en présence de ces conditions, de recourir aux prescriptions minutieuses en usage en Westphalie ou en Belgique ; une simple surveillance permettant de reconnaître la maladie dès le début de sa manifestation doit suffire.

Communication de M. Butery, sur **un concasseur Galland à trois temps** modèle 1904.

Ce concasseur se compose de pointes à mouvement rectiligne alternatif placées à la partie supérieure et agissant d'abord sur le charbon qui le font éclater sans l'écraser et de rouleaux à pointes placés au-dessous qui achèvent le concassage. Ce système combiné donne beaucoup moins de poussier.

DISTRICT DE SAINT-ÉTIENNE.

Réunion du 2 décembre 1905.

Communication de M. LIÉNARD sur **les machines d'extraction électriques au Congrès des mines de Liége.**

Cette communication devant être donnée *in extenso* au Bulletin de l'Industrie minérale, il n'en est pas fait ici de résumé.

Production houillère de Saône-et-Loire en 1903 et 1904.

La production totale de Saône-et-Loire s'est élevée, en 1905, à un total de 1 790 500 t en diminution de 9 000 t sur celle de 1904. Les mines de Blanzy entrent pour 1 438 000 soit 80,5 0/0 sur ce chiffre. Après vient Épinac pour 145 000 et le Creusot pour 115 000.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 3. — *20 janvier 1906.*

Immersion d'une conduite dans un des bassins du port de Hambourg par C. Merckel *(suite)*.

Quelques remarques sur la superstructure des chemins de fer américains, par E. Giese.

Causeries de mécanique industrielle. — Les plus récentes théories sur l'électricité, par G. Holzmüller.

Forme sèche pour torpilleurs des chantiers impériaux à Kiel, par Ph. von Klitzing.

Contrôle de l'État sur les installations électriques, par H. Passavant.

Groupe de Bavière. — Études sur la situation des Ingénieurs par J. Köllmann.

Groupe de Thuringe. — Développement actuel des turbines comme moteurs et comme machines élévatoires.

Revue. — Locomotive express 3/5 à quatre cylindres du London and South-Western-Railway.

Poche de coulée pour le procédé Talbot, de 50 t de capacité.

N° 4. — *27 janvier 1906.*

Recherches sur l'effort de traction des locomotives, par R. Sanzin.

Ponton de 12 000 t pour déchargement de charbon, système Temperley, pour le port de Portsmouth, par W. Kaemmerer.

Causeries de mécanique industrielle. — Les plus récentes théories sur l'électricité, par G. Holzmüller *(fin)*.

Exposition universelle de Liége en 1905. — Les machines-outils, par G. Schlesinger *(suite)*.

Groupe de Bochum. — Utilisation de la vapeur d'échappement, au moyen de turbines et d'un réservoir intermédiaire.

Groupe de Hanovre. — Organisation et méthodes de travail dans les fabriques.

Revue. — Turbines à vapeur, de Brown, Boveri-Parsons. — Obtention des sous-produits dans la fabrication du coke. — Expériences sur le nouveau frein rapide Westinghouse, sur la ligne Munich-Augsbourg. — Grue flottante de 100 t.

N° 5. — *3 février 1906.*

Locomotives pour courbes de faibles rayons, par Metzeltin.

Procédés mécaniques dans la blanchisserie, par G. Rohn.

Immersion d'une conduite dans un des bassins du port de Hambourg, par C. Merckel *(suite)*.

Exposition universelle de Liége en 1905. — Les machines-outils, par G. Schlesinger *(suite)*.

Estacade de déchargement dans le port d'Emden.

Groupe de Hambourg. — Chauffage mécanique.

Groupe de Cologne. — Les locomobiles à vapeur, système de Wolf, et leur développement.

Bibliographie. — Les turbines à vapeur, par W.-H. Eyermann.

Revue. — Les vitesses des trains express en Amérique et en Europe. — Hôtel pour les Sociétés d'ingénieurs réunis, à New-York.

N° 6. — *10 février 1906.*

Exposition universelle de Liége en 1905. — Les machines-outils, par G. Schlesinger *(suite)*.

Cornues à gaz verticales de Dessau, par J. Bueb.

Immersion d'une conduite dans un des bassins du port de Hambourg, par C. Merckel *(fin)*.

Nouvel appareil Orsatt pour l'analyse des gaz, par C. Hahn.

Réglage des turbines à vapeur étagées, par H. Janssen.

Palier pour arbres à grande vitesse de rotation, par F. Niethammer.

Groupe du Rhin inférieur. — L'électrolyse de l'eau et la soudure autogène des métaux par les gaz obtenus.

Bibliographie. — Manuel de l'ingénieur, par la Société « la Hütte ».

Revue. — Le nouveau port de Harburg. — Locomotives américaines. — Four à coke portatif de Mathowson. — Excavateur pour la fabrique de sucre de Glantzig. — Appareil pour la mesure de la pression de réaction sur les aubes des turbines à vapeur.

N° 7. — *17 février 1906.*

Les chemins de fer de l'Inde, par Blum et E. Giese.

Recherches sur les mélanges explosifs d'air et de gaz d'éclairage, par F. Hausser.

Freins d'automobiles, par Lutz.

Vapeur pour la Trinidad, construit par Thornycroft et C°, à Chiswick, par W. Kaemmerer.

Vitesses de piston des machines élévatoires, par C. Goldstein.

Formation des fissures dans les tôles de chaudières, par C. Bach.

Groupe de Berlin. — Nouvelles expériences sur la radioactivité.

Bibliographie. — Constructions en ciment armé, par E. Mürsch. — Théorie et emploi du ciment armé, par R. Saligen. — Le calendrier du béton pour 1906. — Plaques en ciment armé pour dallages et emplois analogues, par G. Schelburberger. — Les constructions métalliques, par M. Foerster.

Revue. — Exposition internationale automobile à Berlin, en 1906. — Traction électrique au tunnel du Simplon. — Dépôt de charbon dans la baie de Marraquesnet. — Exposition de Milan en 1906.

N° 8. — *24 février 1906.*

Les constructions élevées aux États-Unis, par F. Rohny.

Étude sur la question : La vapeur surchauffée peut-elle contenir de l'eau ? par F. L. Richter.

Les chemins de fer de Londres, par Blum et G. Giese *(fin)*.

Expériences sur la résistance des plateaux tournants, par M. Grübler.

Groupe du Palatinat-Saarbrück. — Manière dont le nitrate de potasse se comporte en présence de détonateurs.

Revue. — Le navire de guerre anglais *Dreadnought*. — Développement de la production et de l'emploi du caoutchouc. — L'état de la fabrication des machines en Allemagne. — Accident dans une épreuve hydraulique de chaudières. — Le nouveau paquebot *Adriatic*.

N° 9. — *3 mars 1906.*

Développement des locomobiles de R. Wolf aux points de vue technique et commercial.

Les constructions élevées aux États-Unis, par Bohny *(suite)*.

Influence de la profondeur d'eau sur la vitesse des contre-torpilleurs, par Paulus.

Groupe de Francovie et du Haut-Palatinat. — Organisation du travail dans la National East Register C°, à Dayton (Ohio).

Revue. — Exposition internationale d'automobiles à Berlin, en 1906. — Production et consommation de l'électricité à Berlin.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Agenda Dunod pour 1906. Construction (1).

Cet agenda, qui s'adresse spécialement aux Ingénieurs, Architectes, Entrepreneurs, Conducteurs, Agents-voyers et Métreurs, se compose de quatre parties.

1° *Généralités*, sur la résistance des matériaux, les terrassements, les maçonneries, les métaux, les bois et l'écoulement des eaux;

2° *Travaux publics* : Rivières et canaux, ports, routes et ponts;

3° *Construction du bâtiment*, fouilles, fondations et maçonneries, charpentes et menuiserie, carrelage, dallage, pavage et empierrements, couverture, chauffage et ventilation, peinture et vitrerie, plomberie et éclairage.

Enfin une série de prix courants divers à Paris, termine cette troisième partie, avec la loi de 1898 sur les accidents du travail;

4° *Tables et formules usuelles*.

IIIe SECTION

Théorie des turbines. Hydraulique pratique, par le docteur Gustave Zeuner, traduit de l'allemand par M. E. Kreitmann, Ingénieur des Arts et Manufactures (2).

C'est un ouvrage classique qui réunit les différents matériaux relatifs à la théorie de l'écoulement des fluides, et spécialement à celle des turbines et où le célèbre professeur Zeuner a su classer, et grouper avec ses propres découvertes, les travaux antérieurs, dont on peut toutefois lui reprocher d'avoir peu cité les auteurs.

La plus grande partie de l'ouvrage a trait à l'hydraulique. Mais les équations sont, au début, présentées sous leur forme générale, de telle sorte qu'elles peuvent être appliquées aux fluides élastiques, vapeur, air et gaz.

En 1899, quand l'édition allemande de cet ouvrage parut, il n'était que peu, ou pas, question des turbines à gaz. Les turbines à vapeur débutaient, on ne songeait pas encore à faire des compresseurs d'air à grande vitesse, tandis que la turbine hydraulique était de mieux en mieux connue. Aussi, c'est surtout leur technique que cet ouvrage re-

(1) In-16, 150 × 95 de XIV-294-LXIV p. Paris, H. Dunod et E. Pinat. Prix, relié : 2, 50 f.

(2) In-8°, 255 × 165 de XV-418 pages avec 80 figures. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix, broché : 14 f.

marquable résume et complète d'une façon magistrale, quoique des chapitres spéciaux soient cependant réservés aux ventilateurs et turbines à vapeur.

Dans la première partie, intitulée : Hydraulique pratique, et réellement consacrée à l'établissement des formules fondamentales, le docteur Zeuner s'attache particulièrement à l'examen des coefficients de résistance, c'est-à-dire des paramètres modifiés, qu'il faut adapter, aux formules établies, pour l'écoulement des liquides, dans les canaux, où la section varie progressivement, lorsque l'on veut appliquer ces mêmes formules, à des filets liquides, s'écoulant au travers d'orifices, ou dans des conduites brusquement élargies ou déviées.

Ces coefficients de résistances sont très utiles à connaître pour quelques cas très simples, où l'expérience a permis de les établir. Mais il est certain que les circonstances locales ont une influence considérable, que le bon, ou mauvais, emploi de la force vive absorbée par les tourbillons, modifie considérablement les résultats, et que l'on sera prudent en n'oubliant pas que ces formules sont provisoires, établies pour des cas spéciaux, permettent seulement d'attendre que la théorie puisse donner des expressions, peut-être toutes différentes, par une étude plus complète de ces transformations de l'énergie.

Le chapitre suivant est réservé à la technique des appareils à jet, dont la théorie a été récemment complétée, notamment au sujet de l'injecteur Giffard.

Ce que M. Zeuner s'est appliqué surtout à exposer dans la fin de la première partie, ce sont les recherches qu'il a faites sur le mouvement relatif des liquides dans les récipients en mouvement. C'est une contribution personnelle de la plus haute valeur qu'il a apportée, là, pour la première fois, et qui suffirait à donner, à cet ouvrage, un intérêt de tout premier ordre. Ce sujet constitue réellement la base de la théorie des turbines.

Dans la seconde partie, les formules établies sont appliquées avec le plus grand soin, aux différents types de turbines à eau et turbines à vapeur envisagées, tantôt comme machines motrices, tantôt comme pompes ou propulseurs. Chaque chapitre traite une de ces applications des formules fondamentales.

L'un des plus grands intérêts de cet ouvrage, c'est précisément l'établissement de ces formules de l'écoulement des fluides. Les principes y sont exposés dans toute leur généralité, de façon à pouvoir être appliqués dans les différents cas et non restreints aux exemples présentés. Aussi ce livre a-t-il une portée considérable.

Évidemment des ouvrages récents, et tout particulièrement les remarquables travaux de M. Rateau sur les turbo-moteurs, ont apporté de puissants éléments nouveaux, mais ce traité du docteur Zeuner est et semble devoir rester indispensable à tous ceux qui voudront étudier l'hydraulique et la théorie des turbines.

J. Deschamps.

IVe SECTION

Rapport de la Commission nommée pour étudier les divers procédés électro-thermiques pour la réduction des minerais de fer et la fabrication de l'acier employés en Europe (1).

Le Gouvernement canadien, frappé de l'importance que prenaient sur le continent les différents procédés électro-sidérurgiques, nomma, en décembre 1903, une Commission chargée de les étudier. Cette Commission comprenait : M. Haanel, surintendant des mines, président; M. Harbord, métallurgiste; M. Brown, électricien; M. Nystrom, dessinateur, et M. Coté, secrétaire.

Dans un rapport extrêmement documenté, qui constitue assurément le premier mémoire complet — du moins à l'époque où il a été élaboré — et, qui de plus, est entièrement impartial, la Commission rend compte de son importante mission.

Ce rapport est divisé en trois parties : La première, due à M. Haanel, s'occupe de généralités, donne la description des procédés, reproduit avec un soin tout particulier les plans et photographies des appareils et de leurs aménagements, des usines, etc.; enfin l'auteur s'est attardé avec justes raisons sur la liste complète des brevets, et cela pour chacun des procédés; ce sont là assurément des renseignements de haute valeur.

M. Haanel passe successivement en revue le procédé Kjellin qui fonctionnait à Gysinge à l'époque où la Commission se trouvait en Suède, et qui emploie un four à induction; le procédé Héroult qui est assurément celui ayant donné jusqu'ici les résultats les plus concluants, le procédé Stassano qui utilise un four tournant, et enfin le procédé Keller qui est en usage à Livet.

Parmi les conclusions qui terminent ce premier chapitre, il est particulièrement intéressant de citer celles-ci :

« Par les procédés Kjellin, Héroult ou Keller, l'on peut produire de l'acier, égal sous tous rapports, au meilleur acier de Sheffield, et cela beaucoup plus économiquement que le meilleur acier au creuset.

« Généralement parlant, les réactions opérées dans les fours électriques dans la réduction du fer et sa combinaison avec le silicium, le soufre, le phosphore et le manganèse, sont semblables à celles qui s'opèrent dans le fourneau ordinaire. En changeant la charge et en réglant la température par la variation du courant électrique, l'on peut obtenir toutes les variétés du fer, et le changement d'une variété à l'autre peut s'effectuer plus rapidement que dans le fourneau ordinaire. »

La deuxième partie, qui constitue le rapport de M. Brown, donne toutes les mesures électriques qui ont été pratiquées au cours des expériences faites devant la Commission.

(1) In-8°, 255×170 de XV-237 pages avec 24 pl., 29 fig. et un appendice. Ottawa, Canada, 1905.

La troisième partie, la plus documentée et la plus intéressante, étudie les résultats obtenus soit comme produits, soit comme prix de revient. M. Harbord y donne avec force détails les résultats de tous les essais qui ont été faits devant lui, à Gysinge, à La Praz, à Turin et à Livet.

A chaque ligne de ce rapport ressortent les avantages considérables du four électrique. C'est ainsi que, rendant compte des expériences de La Praz, M. Harbord dit :

« Le procédé électrique offre un tel avantage sous le rapport des dépenses d'opération, qu'avec les mêmes conditions, quant à la main-d'œuvre, il supplanterait le procédé du creuset, d'autant plus qu'il y a tout lieu de croire qu'il serait facile de fabriquer au four électrique les aciers d'alliage qu'on emploie maintenant en si grande quantité pour les outils tranchants à grande vitesse. »

Et plus loin :

« Le four Héroult est d'un modèle admirable, et il n'y a aucune raison de croire que des fours de 10 et même de 15 t ne donneraient pas de bons résultats. »

Des tableaux donnent, en mesures anglaises, les divers chiffres trouvés dans les essais mécaniques pratiqués sur les échantillons fabriqués. On y remarque les excellentes qualités des différents aciers, quelles que soient leurs nuances.

Enfin il est rendu compte des essais assez nombreux de réduction directe du minerai, dont les plus importantes ont eu lieu à Livet.

Un appendice clôt cet important volume ; il comprend la reproduction de divers mémoires ayant trait à l'électro-sidérurgie : l'étude de M. Harmet, la description du procédé Gin, un travail de M. Stassano, et enfin la conférence de M. Vattier sur le traitement des minerais de cuivre au four électrique, faite à la Société des Ingénieurs civils.

Empressons-nous d'ajouter que cet ouvrage est accompagné d'un très grand nombre de dessins, planches, photographies et micrographies des plus nets, qui lui donnent une remarquable clarté.

Bien que la question de l'électro-sidérurgie — qui fait de si rapides progrès — n'y soit plus entièrement décrite, certains procédés récents, notamment celui du Creusot, n'y figurant pas, on peut affirmer que ce rapport constitue le document le plus précieux qui existe sur l'une des questions métallurgiques les plus importantes,

L. Guillet.

V^e^ SECTION

Actualités Scientifiques, par M. Max de Nansouty (1).

Notre distingué collègue, M. de Nansouty, vient de faire paraître la deuxième année de ses *Actualités Scientifiques* et a bien voulu en offrir un exemplaire à la bibliothèque de notre Société. On sait que, sous ce titre, l'auteur publie chaque année des études sur les nouveautés parues

(1) In-8°, 205 × 130 de 365 p. Paris, Schleicher frères, 1905. Prix broché : 3,50 f.

dans la période correspondante dans le domaine de la physique et chimie, de l'astronomie, de la mécanique, de l'électricité, de l'agriculture, hygiène, physiologie, etc. Ces questions sont traitées avec une précision qui n'est pas exempte de simplicité et l'ouvrage est écrit avec ce style humoristique dont l'auteur a le secret et qui rend attrayante la lecture des sujets les plus sérieux. Nous ne doutons pas que ce nouveau volume ait le succès qu'a obtenu celui de l'année dernière.

A. M.

Le chauffage des habitations par calorifères, par M. Raymond Périssé, Ingénieur-Agronome (1).

Le calorifère a pris dans la maison moderne une place importante qui fait souvent de l'ingénieur le collaborateur de l'architecte. Un aide-mémoire avait donc sa place toute indiquée dans une encyclopédie scientifique.

Les perfectionnements apportés depuis quelques années aux systèmes de chauffage des habitations sont nombreux et importants; à chacun d'eux correspondent des avantages pratiques qu'il était bon de faire ressortir.

Après un exposé théorique des principales conditions d'établissement, l'auteur, qui s'est spécialisé dans l'étude de ces questions, a traité successivement, des calorifères à air chaud, des appareils de chauffage par l'eau chaude, à basse et à haute pression, puis du chauffage par la vapeur à basse pression. Il a examiné les principaux systèmes actuellement exploités en France, ainsi que les appareils les plus employés dans les maisons de rapport et les hôtels particuliers.

Des figures, extraites de dessins d'exécution, servent à l'éclaircissement du texte et complètent utilement les indications.

L'auteur n'a pas oublié de faire connaître les avantages et les inconvénients propres à chaque système pour permettre aux propriétaires et aux architectes de fixer leur choix en connaissance de cause. L'Ouvrage, qui est une revue rapide des appareils les plus récents, sera donc d'une grande utilité aux techniciens d'une part, et d'autre part à ceux qui, en faisant usage des calorifères, ne soupçonnent pas à quelles difficultés nombreuses les constructeurs se heurtent pour les établir et pour répondre à toutes les exigences du confortable moderne.

Ch. G.

Hygiène et sécurité du travail industriel, par M. Georges G. Paraf, Ingénieur des Arts et Manufactures (2).

L'ouvrage de M. G. Paraf constitue l'étude la plus complète qui ait

(1) Petit in-8° (19×12) (25 fig.). *(Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.)* — Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, Paris. — Prix: broché, 2,50 f ; cartonné, 3 f.

(2) Un vol. in-8° de 622 pages, avec 400 fig. — V° Ch. Dunod, éditeur, 49, quai des Grands-Augustins, Paris, VI°. — Prix: broché, 20 f ; cartonné, 22 f.

été publiée en France sur les divers moyens employés dans l'industrie pour prévenir les accidents du travail ou en atténuer les effets. L'auteur s'est attaché à ne citer que des résultats acquis ; il a pris ses exemples, ses documents et ses photographies dans les usines les mieux installées de la France et de l'étranger et met ainsi en évidence les perfectionnements les plus récents apportés partout à l'hygiène et à la sécurité des travailleurs.

Parmi les installations décrites, citons celles de Sèvres, Delaunay-Belleville, Schneider, Appert, Menier, Weyher et Richemond, Darracq, pour la France ; Krupp, L. Loewe, Pintsch, Siemens, Cockerill, Colville, Sturtevant, Richard, Escher Wyss, Sulzer, etc., pour l'étranger.

Tout en s'attachant surtout aux questions technologiques qu'il s'est efforcé de réunir en groupements généraux, M. Paraf aborde aussi les questions médicales et juridiques.

Il donne, en appendice, les lois, décrets et arrêtés promulgués en France concernant le travail.

La partie médicale a été traitée tant au point de vue de l'hygiène de l'atelier, c'est-à-dire de la salubrité industrielle, que de l'hygiène professionnelle, c'est-à-dire de l'hygiène de l'ouvrier lui-même. Cette dernière question est d'une actualité immédiate, car elle sera la base de la future législation des retraites ouvrières.

Ch. G.

Le vinaigre, par M. Henri Astruc, Ingénieur agricole, Préparateur à la station œnologique de l'Hérault (1).

Dans ce volume l'auteur s'est efforcé de condenser, en un petit nombre de pages, la théorie et la technique de la fabrication du vinaigre. Il a cherché à mettre toute personne intelligente à même de devenir rapidement et aisément chef de fabrication ou directeur technique d'une vinaigrerie.

La matière première, la fabrication tant au point de vue chimique qu'au point de vue pratique, l'installation et l'aménagement des locaux, les différents appareils et procédés, leur conduite, le produit fabriqué, ses traitements, ses maladies, sa composition, ses essais, la recherche de ses falsifications les plus communes comme les plus rares, sont successivement passés en revue et minutieusement étudiés. Rien n'est omis de ce qui intéresse le fabricant et peut l'aider dans la pratique journalière d'une industrie éclairée par Pasteur d'un rayon si lumineux et restée néanmoins jusqu'ici assez loin du progrès qu'on aurait attendu d'elle.

Ch. G.

(1) Petit in-8° (19×12) de 163 pages (16 fig.). (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). — Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, Paris. — Prix : broché, 2,50 *f* ; cartonné, 3 *f*.

VI^e SECTION

L'Électricité dans l'Automobile, par H. DE GRAFFIGNY, Ingénieur civil (1).

L'électricité joue un rôle fort important dans les automobiles.

Les solutions appliquées offrent pour tous un réel intérêt par leur ingéniosité.

Leur connaissance est une véritable nécessité pour ceux qui pratiquent l'automobilisme.

A ce double point de vue, l'ouvrage de M. H. de Graffigny sera bien accueilli. La clarté et la simplicité de sa rédaction rendent sa lecture aussi facile que profitable.

A. B.

Les télégraphes en Europe, leur état actuel en 1905, par Émile GUARINI, professeur à l'École d'Arts et Métiers de Lima (2).

Opuscule qui n'est, au dire même de l'auteur, ni un manuel ni un traité, mais une rapide nomenclature des systèmes télégraphiques en usage dans les différents États européens. Les principes des différents appareils y sont brièvement exposés. Certaines réserves seraient à faire sur quelques affirmations relatives à la téléphonie, dont l'auteur paraît oublier les succès sur de très longues distances tant en Europe qu'en Amérique.

A. P.-V.

(1) In-18, 190×120 de 201 pages, avec 65 figures. Paris, H. Desforges, 1906. Prix, broché : 3 francs.

(2) In-8°, 240 × 155 de 68 p. avec 22 illustr. Paris, V^ve Ch. Dunod. Prix : broché, 5 f.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. DE DAX.

IMPRIMERIE CRAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 3080-2-06. — (Encre Lorilleux).

Tableau A.

Leur production.

ACIÉRIES MARTIN					PRODUCTION TOTALE D'ACIERS de toutes sortes	
	PROCÉDÉ basique		FONDERIES d'acier moulé			
	Nombre de fours	Tonnages — tonnes	Nombre de fours	Tonnages — tonnes	Tonnes	0/0 du total
	84	40	20	18	7 438 000	54,3
	9	40	13	15	1 778 000	13,0
	13	45	1	30	153 000	1,1
	10	30	2	10	882 000	6,4
	9	40	2	15	434 000	3,2
	8	40	2	4	667 000	4,9
	2	40	»	»	70 000	0,5
	33	40	14	20	639 000	4,7
	»	»	»	»	»	»
	8	20	10	10	109 000	0,8
	3	15	4	15	411 000	3,0
	4	30	»	»	15 000	0,1
	»	»	»	»	357 000	2,6
	»	»	15	15	167 000	1,2
	»	»	»	»	152 000	1,1
	»	»	3	20	51 000	0,4
	»	»	»	»	»	»
	6	40	6	15	175 000	1,3
	»	»	1	3		
	3	15	3	20		
	»	»	»	»		
	7	25	»	»	192 000	1,4
	1	30	7	20		
	4	50	»	»		
	»	»	»	»		
	204		103		13 690 000	100,00

PARIS. — IMPRIMERIE CHAIX. — 6348-3-06.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

MARS 1906

N° 3

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de mars 1906, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Astronomie et Météorologie.

EIFFEL (G.). — *Étude comparée des Stations météorologiques de Beaulieu-sur-Mer (Alpes-Maritimes), Sèvres (Seine-et-Oise), Vacquey (Gironde), pour l'année 1904*, par G. Eiffel (in-4°, 315 × 245 de VIII-158 p. avec atlas, 325 × 255 de 13 pl.). Paris, L. Maretheux, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44333 et 44334

EIFFEL (G.). — *Types généraux de Comparaisons météorologiques appliqués à l'etude des stations de Beaulieu-sur-Mer (Alpes-Maritimes), Sèvres près (Paris) et Vacquey (Gironde) pour l'année 1905 (premier semestre)* par G. Eiffel (in-4°, 315 × 245 de VI-71 p. avec 5 pl.). Paris, L. Maretheux, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44335

Chemins de fer et Tramways.

BLANC (P.). — *Chemins de fer.* 28e édition revue et augmentée par Pierre Blanc. *1906* (in-16, 150 × 95 de XX-305-LXIV p.) (Agenda-Dunod à 2,50 f). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44321

Chemins de fer. Postes, Télégraphes, Téléphones et Marine. Compte rendu des opérations pendant l'année 1904. (Royaume de Belgique. Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes) (in-4°, 315 × 195 de A-183; B-52; C-32; D-12; XI pages, avec une carte. Bruxelles, J. Goemaere, 1905. 44332

HERDNER (A.). — *Efforts de traction. Double traction et stabilité*, par M. A. Herdner (Extrait de la Revue générale des Chemins de fer et des Tramways. N° de Novembre 1905) (in-4°, 320 × 225 de 39 p. avec 20 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44317

HERDNER (A.). — *Recherches sur le fonctionnement des organes de la suspension dans les locomotives*, par M. A. Herdner (Extrait de la Revue générale des Chemins de fer et des Tramways. N° de Juin 1905) (in-4°, 320 × 225 de 31 p. avec 7 fig.). Paris. H. Dunod et E. Pinat, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44318

Chimie.

JAVET (É.). — *Chimie*, par Émile Javet. 28e édition revue et augmentée. *1906* (in-16, 150 × 95 de XXI-360-LXVI p.) (Agenda-Dunod à 2,50 f). Paris. H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44322

Construction des Machines.

DESJUZEUR (M.). — *Du choix de la force motrice*, par M. Desjuzeur (Association Lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur (in-8°, 215 × 135 de 19 p.). Lyon, Imprimerie Delaroche et Cie, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44356

IZART (J.). — *Méthodes économiques de combustion dans les chaudières à vapeur*, par J. Izart (in-8°, 325 × 165 de XV-213 p. avec fig.) Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44359

RAZOUS (P.). — *Usines et Manufactures*, par M. Paul Razous. 5e édition complètement remaniée. *1906* (in-16, 150 × 95 de VI-265-LXIV p.) (Agenda-Dunod à 2,50 f). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44327

RICHARD (G.). — *Mécanique*. Revu par G. Richard. 28e édition revue et augmentée. *1906* (in-16, 150 × 95 de VI-195 p. avec LXII p. (Agenda-Dunod à 2,50 f). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44323

The Manchester Steam Users' Association. Memorandum by Chief Engineer for the year 1904 (in-8°, 235 × 150 de 98 p. avec 2 pl.). Manchester, Taylor, Garnett, Evans and Co Ltd., 1905. 44357

Économie politique et sociale.

COLOMER. — *La main-d'œuvre au point de vue de l'expansion économique mondiale.* Rapport présenté par M. Colomer (Congrès international d'expansion économique mondiale. Mons 1905. Section V. Expansion civilisatrice vers les pays neufs) (in-8°, 235 × 155 de 6 p.). Bruxelles, Imprimerie Hayez. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44320

Tableau général du commerce et de la navigation. Année 1904. Deuxième volume. Navigation (Navigation internationale. Cabotage français et Effectif de la Marine marchande) (République Française. Direction générale des Douanes) (in-4°, 365 × 275 de 470-458 pages). Paris, Imprimerie nationale, 1905. 44350

Électricité.

GUARINI (É.). — *Derniers progrès du télépherage électrique*, par Émile Guarini (in-8°, 240 × 155 de 27 p. avec fig.). Paris, Vve Ch. Dunod. (Don de l'éditeur.) 44361

HILLAIRET (A.). — *Les moteurs électriques dans l'industrie*, par M. A. Hillairet (Conférences sur l'état actuel des industries électriques faites sous les auspices de la Société française de Physique et de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale) (Extrait du Bulletin des séances de la Société française de Physique, 1905) (in-8°, 240 × 155 de 32 p.). Tours, Imprimerie Deslis frères, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44337

MONTPELLIER (J.-A.). — *Électricité*, par J.-A. Montpellier. 28e édition complètement revue et augmentée. *1906* (in-16, 150 × 95 de x-295-LXIV p.) (Agenda-Dunod à 2,50 f). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44324

Enseignement.

Université de Liége. Association des Élèves des Écoles spéciales. Rapport annuel présenté à l'assemblée générale du 30 octobre 1905, en conformité de l'article 50 du Règlement, par M. Albert Neef. *Rapport des Secrétaires du Comité des Fêtes du XXVe anniversaire. Rapport du Directeur de la Bibliothèque. Rapport du Directeur du Bulletin. Rapport du Trésorier. Liste des Membres pour 1905-1906* (in-8°, 240 × 155 de 35 p.). Liége, Imprimerie moderne. 44362

Législation.

Liste générale des Membres de la Société et des Associations affiliées, par ordre alphabétique et par départements (Bulletin de la Société des Agriculteurs de France, 25 Février 1906) (in-8°, 250 × 160 pages 193 à 516). Paris, Hôtel de la Société, 1906. 44330

MOURRAL (A.) et BERTHIOT (A.). — *Accidents du travail. Loi du 9 avril 1898 modifiée par celles des 22 mars 1902 et 31 mars 1905.* Règlements d'administration publique décrets et arrêtés relatifs à son exécution. Commentaire pratique et revue de jurisprudence avec tableaux comparatifs de la législation étrangère, par M. Amédée Mourral, avec la collaboration de M. A. Berthiot. Deuxième édition (in-8°, 230 × 145 de XXXIX-320 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44360

Métallurgie et Mines.

BROUGH (B.-H.). *The Early use of Iron*, by Bennett H. Brough (in-8°, 210 × 140 de 16 p.). (Don de l'auteur.) 44351

BRÜLL (A.). — *Observations sur les causes de la catastrophe survenue le 25 janvier 1905 aux ardoisières de la Renaissance à Arrillé, près Angers*, par M. A. Brüll (in-4°, 310 × 210 de 42-17 p. avec 11 fig. autog.). Paris, 9 Juin 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44341

CHABRAND (E.). — *Les anciennes fonderies des Alpes Delphino-Savoisiennes*, par M. E. Chabrand (Extrait des Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences. Congrès de Grenoble 1904) (in-4°, 235 × 160 de 18 p.). Paris, Secrétariat de l'Association. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44342

GIN (G.). — *L'électro-métallurgie de l'acier.* Conférence donnée le 20 Décembre 1905 à l'Institut chimique de Nancy, par M. Gustave Gin (Supplément au Bulletin trimestriel n° 47, 22e année 1905, de la Société industrielle de l'Est) (in-8°, 245 × 160 de 29 p. avec 15 fig.). Nancy, Imprimerie P. Pierron, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44319

LEVAT (D.). — *Mines et Métallurgie*, par M. David Levat. 28e édition revue et augmentée *1906* (in-16, 150 × 95 de X-280-LXIV p.) (Agenda-Dunod à 2,50 f.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44325

MOREAU (G.). — *Étude sur l'état actuel des mines du Transvaal.* Les gites. Leur valeur. Étude industrielle et financière, par George Moreau (in-8°, 250 × 160 de IV-218 p. avec 48 figures). Paris, Ch. Béranger, 1906. (Don de l'éditeur.) 44355

VENATOR (W.). *Die Deckung des Bedarfs, an Manganerzen*, von Ingenieur Wilhelm Venator in Düsseldorf (Sonder Abdruck aus « Stahl und Eisen » 1906. N^r 2, 3 und 4) (in-8°, 280 × 190 de 25 p. avec 12 fig. et 2 pl.). Düsseldorf, August Bagel. (Don de Verein deutscher Einsenhüttenleute.) 44328

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Report of the Superintendent of the Coast and Geodetic Survey showing the Progress of the Work from July 1, 1904 to June 30, 1905 (in-4°, 290 × 225 de 347 p. avec 8 illustrations). Washington Government Printing Office, 1905. 44339

***Statistique** de la navigation intérieure. Nomenclature et conditions de la navigabilité des fleuves, rivières et canaux. Relevé général du tonnage des marchandises. Année 1904* (Ministère des Travaux publics. Direction des Routes, de la Navigation et des Mines. Division de la statistique) (in-4°, 310 × 230 de 410 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1905. 44358

Périodiques divers.

***Journal** officiel de la République Française. Tables alphabétiques et analytiques de 1905* (in-4°, 330 × 240 de 122-1-18, 7, 4, 38, 14 pages). Paris, Imprimerie des Journaux officiels. 44329

Physique.

JAMIN (J.). et BOUTY (M.). — *Cours de Physique de l'École Polytechnique par M. J. Jamin. — Premier supplément, par M. Bouty, Chaleur. Acoustique. Optique. — Deuxième supplément, par M. Bouty. Progrès de l'électricité. (Oscillations hertziennes. Rayons cathodiques et Rayons X). — Troisième supplément, par M. Bouty. Radiations. Électricité. Ionisation* (3 volumes in-8°, 225 × 140 de 182 p. avec 41 figures; de 213 p. avec 45 fig. et 2 pl.; de 419 p. avec 104 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1896, 1899, 1906. (Don de l'éditeur.) 44352 à 44354

Routes.

***Répertoire** des emplacements et altitudes des repères.* Réseau de troisième ordre et première partie du réseau de quatrième ordre. Lignes comprises dans le polygone L. de premier ordre. 3e fascicule. Lignes comprises dans le polygone Z de premier ordre. 1er fascicule. (2 brochures in-8°, 270 × 180) (Ministère des Travaux publics. Nivellemen général de la France). Nantes. Imp. M. Schwob et Cie (Don de M. Ch. Lallemand.) 44348 et 44349

Sciences mathématiques.

***Bulletin** du Laboratoire d'Essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers. Nos 6 et 7. Tome I (1905-1906)* (2 brochures in-8°, 255 × 165 de 24 pages avec 1 pl. et de 30 p. avec 2 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1906. (Don de M. le Directeur du Laboratoire.) 44343 et 44344

Technologie générale.

PILLET (F.-J.). — *La vision cérébrale*, par F.-J. Pillet (Bibliothèque graphique du dessinateur industriel. 1re série. Fascicule A) (une brochure 270 × 140 de 32 p. avec 77 fig.). Paris, F.-J. Pillet. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44346

PILLET (F.-J.). — *Unification des signes et symboles employés dans le dessin.* par F.-J. Pillet (Bibliothèque graphique du dessinateur industriel. 10e série. Fascicule A) (une brochure 270 × 140 de 32 p. avec 225 fig.). Paris, F.-J. Pillet. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44347

Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. LV. December 1905 (in-8°, 230 × 150 de VII-467 p. avec LXXXIV pl.). New-York, Published by Society, 1905. 44338

Transactions of the Engineering Society of the School of Practical Science. Toronto. N° 18, 1904-1905 (in-8°, 220 × 145 de 142 p.). Toronto, The Carswell Company, 1905. 44340

Travaux publics.

Annales des Ponts et Chaussées. 1re partie. Mémoires et documents. 75e année. 8e série. Tome XX. 1905. 4e trimestre (in-8°, 255 × 165 de 391 p. avec 1 pl.). Paris, E. Bernard. 44331

DEBAUVE (A.). et AUCAMUS (E.). — *Construction. I. Généralités.* Revu par A. Debauve. *II. Construction du bâtiment.* par E. Aucamus. 28e édition revue et augmentée. *1906* (in-16, 150 × 95 de XIV-294-LXIV p.) (Agenda-Dunod à 2,50 f). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 44326

LOVERDO (J. DE) LECLAINCHE (E.). — *Les abattoirs publics. Volume I. Construction et agencement des abattoirs. Dispositions générales. Construction. Agencement. Frigorifique. Industries annexes. Abattoirs étrangers*, par J. de Loverdo. Préface de M. E. Leclainche (in-8°, 255 × 165 de VIII-902 p. avec 375 fig. et 9 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44336

Série de prix pour travaux d'entretien. Année 1906. Peinture. Vitrerie. Tenture et Ravalements (Chambre syndicale des Propriétés immobilières de la Ville de Paris) (in-4°, 300 × 230 de 42 p.). Paris, 7, rue Scribe. (Don de la Chambre syndicale). 44345

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de mars 1906, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

A. Archambault de Vençay,	présenté par MM.	Compère, E. Schmidt, Stapfer.
E. Audbert,	—	Coiseau, Groselier, Fougerolle.
J. Becker,	—	A. Bertin, Chaudel, P. Robert.
H.-P.-M. Delastre,	—	Hegelbacher, Blaise, Forest.
P. Espinas,	—	Béliard, Etcheverry, Prus.
A. Gavois,	—	R. Courtois, Richard, Samain.
J. de Lipkowski,	—	Zbyszewski, de Brochocki, Joseph de Lipkowski.
A.-J.-B. Mejean,	—	Ducloux, Hennebique, Monnier-Ducastel.
J.-F. Millot,	—	Beaupré, A. Mallet, L. Périssé.
B.-Ch. Millot,	—	Beaupré, A. Mallet, L. Périssé.
L.-A. Racapé,	—	Hillairet, Boutté, Dujardin-Beaumetz.
L.-L. Rémond,	—	Goguet, Perroud, Rabinel.
A.-J. Roumazeilles,	—	L. Masson, Aug^te^ Moreau, A. Rigaud.
G. Thuillier,	—	Claudel, A. Bertin, P. Robert.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

P. Chaix,	présenté par MM.	La Ferté, Michel-Schmidt, Rochebois.
P.-Ch.-F.-J. Decourchelle,	—	Reumaux, du Bousquet, Bousquet
E.-M.-E. Fichet,	—	Boury, Gauthier-Lathuille, Savy.
A. Minne,	—	Boudreaux, Faure-Beaulieu, Madelaine.
A.-E. Sellier,	—	Brisac, Louvel, Rouché.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MARS 1906

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 2 MARS 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître que M. L. Simulin a été nommé Officier d'académie.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître les avis suivants :

La deuxième Exposition Internationale de Photographie aura lieu, au Grand Palais, de juillet à octobre 1906;

L'ouverture de l'Exposition Minérale organisée par l'Office Colonial a été reculée et aura probablement lieu du 10 au 15 mars courant.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer que M. F. Robineau, vient de faire don à la Société, pour le fonds de secours, d'une somme de 500 francs.

M. le Président lui adresse les remerciements bien sincères de la Société.

M. F. CHAUDY a la parole pour sa communication sur les « *Murs de soutènement en maçonnerie avec éperons en béton armé* ».

M. F. CHAUDY expose qu'il a eu l'idée de proposer l'emploi combiné du béton armé et de la maçonnerie ordinaire dans les murs de soutènement par la création, à l'arrière du mur, de plates-formes horizontales

ou éperons supportant le poids des terres, qui entrent ainsi en ligne de compte dans l'établissement de l'équilibre du système. Ces éperons en béton armé sont encastrés dans le mur en maçonnerie ordinaire dont les épaisseurs sont notablement plus faibles que celles qui seraient nécessaires si les éperons n'existaient pas. L'économie de ce mode de construction résulte de l'utilisation du poids des terres pour ramener la résultante des charges verticales et de la poussée dans l'intérieur du mur en maçonnerie.

M. Chaudy montre de quelle manière on peut déterminer, en commençant par la partie supérieure du mur, l'encorbellement des éperons ainsi que leur écartement en hauteur, eu égard aux épaisseurs qu'on se donne à priori pour la partie de mur en maçonnerie ordinaire.

Il indique qu'une application de ce système peut se rencontrer lorsqu'on doit exhausser un mur existant. Au lieu d'engraisser ce mur uniformément en épaisseur, ou de place en place par des contreforts, il sera plus économique de construire à son sommet un éperon en béton armé et d'élever, au-dessus de cet éperon, un mur plus épais que celui existant, de manière à créer une tendance au renversement vers les terres qui équilibrera la tendance au renversement vers l'extérieur produite par la poussée. Au lieu de recouvrir l'éperon entièrement par de la maçonnerie, on peut le recouvrir seulement de terre ou encore de maçonnerie et de terre par mi-partie.

Enfin, M. Chaudy montre de quelle manière peut être construit un mur de quai avec éperon établi au-dessus du niveau des basses eaux et, par conséquent, facilement exécutable.

M. Forest demande comment est assuré l'encastrement des éperons dans le mur.

M. Chaudy répond que l'épaisseur du mur étant choisie à priori, on détermine l'encorbellement de l'éperon, dont l'encastrement doit être assuré, en recherchant la résultante de toutes les charges verticales qui agissent au-dessus de cet éperon et en laissant de côté la poussée, pour se placer dans des conditions de sécurité plus grandes. Cette résultante doit passer dans l'intérieur de la section du mur sur laquelle repose l'éperon et du côté des terres ; d'autre part, elle doit donner sur la surface d'appui des poutres de l'éperon sur le mur une pression admissible.

En somme, l'épaisseur du mur étant donnée, il y a un encorbellement maximum qu'on ne peut dépasser sans détruire l'encastrement. On pourrait inversement se donner un encorbellement d'éperon et déterminer l'épaisseur minimum à donner au mur pour assurer l'encastrement de cet éperon.

M. Groselier demande si M. Chaudy a déjà appliqué le système de construction qu'il vient d'exposer.

M. Chaudy répond qu'il n'a jusqu'ici établi que des projets et que c'est dans le but de permettre à nos collègues d'en faire des applications qu'il leur soumet son idée.

M. le Président remercie M. Chaudy de son intéressante communication.

M. Lévy-Lambert a la parole pour sa communication sur les *Chemins de fer à crémaillère*.

L'étude de M. Lévy-Lambert se divise en quatre parties :

Dans la première partie, l'auteur présente l'historique succinct des chemins de fer à crémaillère, après quelques considérations sur l'effet utile des machines locomotives en forte rampe.

Il fait remarquer que si les machines à adhérence ont leur effort de traction limité par la valeur du coefficient d'adhérence, les machines à crémaillère peuvent aller plus loin et que leur effort de traction en rampe n'a d'autre limite que la puissance des moteurs eu égard à leur poids.

L'auteur rappelle que l'idée de la crémaillère remonte au début de l'industrie des chemins de fer ; il indique que le brevet de la crémaillère Riggenbach fut pris le 2 août 1863, et l'application du système faite au chemin de Vitznau-Rigi, en 1870, pour la première fois.

Ayant esquissé les principaux traits des divers types de crémaillère et des machines employées aujourd'hui M. Lévy-Lambert passe à la description rapide de quelques tracés de lignes à crémaillère.

Il rappelle que le chemin de Vitznau-Rigi comporte des déclivités de 250 mm et celui du Mont Pilate, construit à voie de 0,80 m, des déclivités de 0,80 m. A propos du chemin de la Jungfrau, les divers projets étudiés sont indiqués et en particulier la description du tracé actuel comportant un tunnel de 10 km en rampe de 250 mm.

Après avoir indiqué le tracé du chemin du Gornergratt, l'auteur passe à la description des tracés des lignes mixtes comportant des sections alternativement à crémaillère et à adhérence. en particulier les chemins du Harz, du Hoellenthal, du Brünig, de l'Oberland Bernois sont cités.

Arrivant à l'étude de la voie et de la crémaillère l'auteur indique les précautions à prendre pour résister au glissement longitudinal de la voie et l'utilité du graissage de la crémaillère.

Crémaillère Riggenbach. — Cette crémaillère bien connue est formée de deux fers ⊔ verticaux de 120 mm de hauteur; des échelons dont les têtes sont rivées contre l'âme verticale des montants repose sur ces montants ; la section des échelons est trapézoïdale ; le vide entre les montants est de 120 à 130 mm ; le jeu restant de chaque côté de la roue dentée motrice est généralement de 20 mm ; le pas est de 100 mm. Sous la poussée de la roue dentée, le dernier échelon d'aval tend à cisailler le métal du montant dans lequel il est encastré. Pour parer à cet effet, cet échelon d'aval est placé à 55 mm de l'about du tronçon de crémaillère, tandis que le premier échelon d'amont est placé à 43 mm du joint ; il reste ainsi un jeu de 2 mm pour la dilatation, suffisant pour une différence de température de 60 degrés, étant donnée la longueur de 3 m à 3,50 m des tronçons ; cette disposition a le grand inconvénient d'empêcher le retournement bout pour bout de la crémaillère.

Le tracé des dents a été fait suivant une développante de cercle de façon à conserver un engrènement correct malgré une légère variation

dans la distance de l'axe de la roue dentée à la ligne primitive de la crémaillère.

On a adopté partout l'emploi de coussinets métalliques pour supporter la crémaillère ; cependant au Brünig, on a évité les coussinets en donnant aux montants verticaux une hauteur très grande, 220 mm ; ce qui a le défaut d'alourdir la crémaillère.

Le dispositif de Trait-Planche permettant l'emploi de la crémaillère à échelons sur la voie publique sans gêne sensible pour les voitures est décrit avec quelque détail.

La sujétion d'avoir à river les échelons, a conduit MM. Bissinger et Klose à modifier la crémaillère Riggenbach en tournant la tête des échelons et les laissant reposer librement dans les montants ; la rigidité du système est assurée en boulonnant un échelon sur quatre. Aux joints, de fortes éclisses latérales rétablissent la continuité et évitent toute tendance au cisaillement du métal des montants par le dernier échelon d'aval. Les échelons extrêmes d'aval et d'amont sont alors posés à égale distance des abouts, ce qui permet de retourner la crémaillère bout pour bout.

M. Klose a adopté une disposition un peu différente : les échelons reposent toujours librement dans l'âme des montants, mais quelques échelons seulement ont leur tête rivée pour maintenir la rigidité du système.

La crémaillère Riggenbach pèse de 50 à 55 kg le mètre linéaire, le type surélevé du Brünig 78 kg.

Crémaillère Abt. — Les crémaillères à échelons sont robustes mais lourdes et d'une construction compliquée ; en outre, dès que la vitesse dépasse 8 km à l'heure la marche des machines devient saccadée.

Frappé de ces inconvénients, notre collègue M. R. Abt a imaginé, en 1882, de tailler les dents de la crémaillère dans des lames d'acier placées de champ ; en disposant deux ou trois lames parallèlement on répartit l'effort de traction entre plusieurs roues dentées ce qui assure une marche plus régulière. Les lames employées ont 20 mm d'épaisseur, 110 mm de hauteur et sont boulonnées sur des coussinets distants de 900 mm ; le pas de la crémaillère est de 120 mm. Le poids moyen d'une lame est de 15 kg le mètre linéaire. Au joint, les lames sont fixées sur le coussinet par un boulon traversant un trou ovalisé pour permettre le jeu de la dilatation.

Les boulons doivent être serrés fortement de façon que les corps des boulons ne travaillent pas au cisaillement.

Cette crémaillère se prête plus facilement au passage en courbe, elle donne aux véhicules un mouvement plus doux et répond mieux aux exigences d'un trafic important que la crémaillère à échelons ; elle s'est, d'ailleurs, promptement répandue.

Crémaillère Locher. — Appliquée seulement au Mont Pilate par le colonel Locher, à cause de la déclivité de 480 mm règnant sur ce chemin. elle consiste en principe en deux lames de crémaillère Abt disposées dos à dos parallèlement au plan de la voie, deux roues dentées, également placées à plat, engrenant avec chacune des deux crémaillères. En réalité les dents sont découpées dans une même barre d'acier de 130 mm de lar-

geur, 40 mm d'épaisseur et 2 398 mm de longueur. Malgré les bons résultats de cette crémaillère, elle n'a été appliquée qu'au Mont Pilate parce que lorsqu'on aborde des pentes aussi raides on a généralement recours à la traction funiculaire.

Crémaillère Strub. — Elle consiste en un rail-crémaillère et a été appliquée pour la première fois à la Jungfrau. M. Strub découpe les dents de la crémaillère dans le champignon d'un rail Vignole surélevé de 140 à 170 mm de hauteur. Ces dents sont de forme cylindro-conique, à leur base le métal est creusé en forme de gorge.

La largeur de 62 mm du champignon permet l'emploi de roues dentées ayant une dimension transversale convenable, et la surface de base du patin assure une grande stabilité ; enfin, la forme du rail permet à deux mâchoires de venir saisir le champignon par en dessous, et de s'opposer, le cas échéant, à toute tendance au soulèvement. La crémaillère Strub pèse 31 à 34 kg le mètre linéaire : elle est très rigide, facile à poser, peut se retourner bout pour bout et se prête bien à l'emploi en courbes de faible rayon.

On compte pour le surplus de dépenses causées par l'emploi de la crémaillère, un prix de revient kilométrique moyen de 30 à 40 000 f en ce qui concerne la voie.

Machines et matériel roulant.

L'auteur indique la classification des machines à crémaillère, suivant que les roues porteuses concourent ou non à la traction, et suivant que les mécanismes, à crémaillère ou à adhérence, sont actionnés ou non par le même moteur.

Après avoir rappelé les dispositions connues de la machine du Rigi, en ce qui concerne l'arbre intermédiaire de transmission et le freinage par l'air comprimé obtenu par simple renversement de la distribution, les machines à deux roues dentées motrices du type du Schneeberg, sont succinctement décrites.

Arrivant aux machines électriques ; les avantages suivants sont indiqués à leur actif :

Faible poids par cheval ;

Facilité de transmission du mouvement et réglage de la vitesse ;

Faible encombrement des moteurs ;

Freinage sûr et commode, en particulier emploi de la réversibilité des moteurs asynchrones, comme moyen de régulation de la vitesse et récupération de l'énergie. Exemples de la Jungfrau, du Gornergratt et du Stanstadt-Engelberg.

A propos des machines où l'on utilise à la fois l'adhérence et la crémaillère pour la propulsion, il convient de remarquer que le diamètre des roues porteuses doit être légèrement supérieur au diamètre primitif de la roue à crémaillère, pour éviter que les roues à adhérence ne soient traînées sur le rail.

Arrivant aux machines mixtes à deux mécanismes, dues à M. Abt, M. Lévy Lambert donne la description des machines puissantes du Harz qui remorquent un train de 135 t en rampe de 60 mm ; il indique sur ces machines comment la disposition adoptée par M. Abt, pour la fixation

des roues dentées sur l'arbre, permet un certain jeu dans la transmission ce qui contribue à la douceur du mouvement.

En résumant ce qui précède le poids moyen par cheval-vapeur ressort pour les moteurs à vapeur à 100 ou 150 kg ; celui des moteurs électriques à 60 ou 70 kg.

EXPLOITATION.

Revenant sur les précautions à prendre pour résister au glissement longitudinal, l'auteur montre les inconvénients des chutes de neige pour les crémaillères à échelons, et cite l'exemple du chemin de Langres où la neige a interrompu la circulation, il y a quelques semaines.

Il indique quelques chiffres relatifs aux dépenses d'exploitation des chemins du Pilate. du Rigi, du Brünig, pour l'année 1896, ainsi que pour la ligne des mines de Padang à Sumatra.

Le Rigi a transporté, l'an passé, 120 000 voyageurs, le Pilate 40'000, le Brünig 130 000.

Il est à remarquer que l'emploi de la traction électrique tend à restreindre l'usage de la crémaillère ; l'exemple du tramway de Laon, où la crémaillère, bien qu'existante, n'est pas utilisée pour la montée des rampes de 122 mm, est un exemple bien topique.

A propos de quelques remarques sur la comparaison à faire, le cas échéant, entre les lignes à adhérence et à crémaillère, quelques chiffres sont donnés relativement aux lignes du Harz, de Viège Zermatt, du Harz et de Saint-Gall-Gais. En terminant M. Lévy Lambert fait remarquer que nos collègues Riggenbach et Abt ont fait œuvre durable en s'adonnant à l'étude et à l'établissement des lignes à crémaillère, que leurs inventions subsisteront et fixeront leurs noms d'une manière durable dans les annales du Génie Civil et de la Société des Ingénieurs Civils de France.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Lévy-Lambert de son intéressant exposé et lui demande la permission de revenir et d'insister sur quelques points importants concernant l'avenir de ce mode de traction.

M. Lévy-Lambert a rappelé avec raison, que la limite de rampe des lignes à simple adhérence avait été reculée par l'emploi de la traction électrique : celle-ci permet d'obtenir au crochet de la locomotive un effort de traction pouvant descendre normalement au cinquième et même au quart du poids qui charge les roues motrices. Ce résultat est uniquement dû à la constance du couple moteur pendant un tour des roues motrices: les tramways à simple adhérence franchissent des rampes s'élevant jusqu'à 14 cm par mètre (San Francisco) et le chemin de fer du Fayet, à Chamounix, atteint 9 cm par mètre.

Il en résulte qu'un véhicule automobile électrique pour chemin de fer à crémaillère peut avoir des roues à la fois porteuses et motrices qui soulagent efficacement la crémaillère.

La traction électrique possède une multiplicité de moyens de freinage qu'on ne trouve pas dans les autres modes de traction.

Un véhicule automobile électrique doit être muni, naturellement, de freins purement mécaniques, puis ensuite il peut comporter:

1° S'il est actionné par du courant continu, un freinage par mise en

circuit des moteurs sur des résistances, ou sur la ligne si celle-ci présente une continuité de rampe suffisante ;

2° S'il est actionné par du courant alternatif polyphasé, un freinage par reversibilité des moteurs asynchrones fonctionnant en générateurs sur la ligne (procédé Maurice Leblanc). Ce freinage ne permet pas l'arrêt, mais il donne au véhicule en pente une vitesse régulière et supérieure de 5 à 6 % environ à la vitesse en rampe.

Le renversement du sens de rotation du champ tournant permet aussi de freiner, mais le réglage des résistances à introduire dans les circuits de l'induit ou rotor pour obtenir le couple résistant maximum à chaque instant, nécessite des tâtonnements.

Les moteurs polyphasés peuvent être, d'autre part, adaptés au freinage si on excite leur inducteur ou stator avec du courant continu, l'induit ou rotor se comportant, sur des résistances, comme un induit d'alternateur ; le réglage de ce freinage est délicat, car la réaction de l'induit, en raison du faible entrefer, peut prendre facilement une valeur dangereuse, démagnétiser les inducteurs et abaisser rapidement la valeur du couple résistant.

Enfin, on peut caler sur l'arbre des moteurs un dynamo à courant continu, et dont on se sert soit comme frein direct en branchant son induit sur des résistances, soit comme excitatrice des inducteurs des moteurs polyphasés fonctionnant en alternateurs de freinage à la descente. Ces différents procédés ont été appliqués.

L'accroissement de l'adhérence, et la facilité du freinage des véhicules automobiles électriques conduisent naturellement à relier les chemins de fer à crémaillère aux distributions d'énergie électrique.

M. Lévy-Lambert a signalé le mode d'exploitation particulier de la ligne du Pilate ; il ne faut pas perdre de vue que ce mode d'exploitation vient de l'emploi de la crémaillère Locher qui nécessite, pour chaque garage, un chariot transbordeur à fosse dont la table supérieure est inclinée suivant le profil moyen de la voie et qui sert à passer les véhicules de la voie d'amont à la voie d'aval, les deux voies ne pouvant comporter d'aiguillages.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. A. Archambault de Vençay, E. Audbert, A. Gavois, J. de Lipkowski, L.-L. Rémond, comme Membres Sociétaires Titulaires, et de :

MM. P. Chaix, P.-Ch.-F.-J. Decourchelle, A. Minne, comme Membres Sociétaires Assistants.

MM. J. Becker, P.-M.-H.-H. Delastre, P. Espinas, A.-J.-B.-A. Mejean, J.-F. Millot, Ch.-B. Millot, L.-A. Racapé, A.-J. Roumazeilles, G. Thuillier, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et :

MM. E.-M.-E. Fichet et A.-E. Sellier, comme Membres Sociétaires Assistants.

La séance est levée à 11 heures.

L'un des Secrétaires techniques,
F. Clerc.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 16 MARS 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de

M. F. Sauvaget, membre de la Société depuis 1881, Ingénieur en chef des Chemins de fer de l'Ouest-Algérien, et adresse à la famille de ce collègue l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

Ont été nommés :

Chevalier de la Légion d'honneur : M. J.-M. Bel ;

Officiers de l'Instruction publique : MM. L. Denis de Lagarde, H.-P. Hanoteau, E.-H. Milon, J.-P.-E. Niclausse, Ed. Perroud ;

Officiers d'Académie : MM. G.-A. Bailleux, G.-L. Beuret, E. Calendini, L.-E.-M. Chapron, A. Hugot, D. Lagneau, L.-E. Pornin, J. Mauroy ;

Chevaliers du Mérite Agricole : MM. G. Lemire, G. Lumet.

M. J. Garçon a reçu de la Société industrielle de Rouen le Prix de l'Exposition de 1884 pour son *Traité des Applications de la Chimie.*

MM. H. Béliard, L.-A.L. Godard Desmaret, F.-F.-G. Journet, J.-F.-P. Kestner, L.-G. Worms ont été nommés Conseillers du Commerce extérieur.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître que M. Audbert, nouveau Membre dont l'admission va être prononcée ce soir, a fait don à la Société d'une somme de 100 f.

M. le Président est heureux de lui adresser les vifs remerciements de la Société.

M. LE PRÉSIDENT prononce les paroles suivantes :

« MESSIEURS,

» Depuis notre dernière réunion, un grand malheur a frappé les mi-
» nes du Pas-de-Calais.

» Samedi dernier, dans la matinée, subitement, plusieurs galeries
» des mines de Courrières ont été ravagées : près de onze cents mi-
» neurs y ont été anéantis.

» L'émotion qui a gagné le pays entier et franchi les frontières, nous » étreint au paroxysme : nous avons pour nos Collègues des mines et » pour leurs collaborateurs de tous rangs une estime particulière qui » vient de la nature de leur mission, et vous savez à quelle hauteur » celle-ci peut atteindre.

» Au nom de la Société des Ingénieurs Civils de France, je salue » avec douleur la mémoire des victimes parmi lesquelles se trouve l'In- » génieur Barrault, mort au fond.

» Au nom de la Société des Ingénieurs Civils de France, j'adresse » aux familles désolées le témoignage de cette intime et puissante sym- » pathie qui nous unit dans le malheur. » *(Approbation unanime.)*

M. A. Hillairet, Président, cède le fauteuil à M. E. Cornuault, Vice-Président.

Présidence de M. E. Cornuault, Vice-Président.

M. E.-A. Barbet a la parole pour sa Communication sur l'*Industrialisation de la Fermentation des Vins.*

M. E.-A. Barbet dit que, malgré les apparences, la fermentation des vins et des cidres n'est pas aussi simple qu'on se l'imagine et que cette question doit intéresser l'Ingénieur. Il va s'efforcer de démontrer que l'on peut apporter un secours efficace à la viticulture en détresse, en organisant, sur des bases techniques et industrielles, des *vineries* centrales, qui seraient dans le Midi l'équivalent des industries agricoles du Nord, telles que la sucrerie, la distillerie, l'huilerie, la féculerie, la minoterie, la brasserie, etc.

Nous ne sommes plus à l'époque où chaque ferme transformait elle-même les produits de son sol. Aujourd'hui l'agriculteur doit avoir pour unique souci de cultiver pour le mieux ; mais il appartient aux Ingénieurs et aux commerçants d'industrialiser et de commercialiser les récoltes pour en obtenir, aux meilleures conditions de prix de revient et de rendement, tous les produits manufacturés et les sous-produits.

Cette division du travail a fait la fortune du Nord de la France ; tout le monde y a trouvé son profit. Il faut qu'il en advienne de même pour les produits de la vigne.

La fermentation est une science très délicate, au-dessus de la portée des viticulteurs. Aujourd'hui surtout où les vignes, très atteintes par les maladies crytogamiques, donnent des jus peuplés de mauvais germes, il faut toutes les ressources de la technologie créée par Pasteur et ses disciples pour dominer la situation, et pour obtenir quand même des boissons saines, agréables et de bonne conservation.

Les appréhensions du public contre une industrie du vin seraient absolument injustifiées. L'usine travaille au grand jour, souvent sous l'œil de la Régie, et ne peut pas se livrer à des pratiques répréhensibles, tandis que le vigneron est maître dans son chai. En industrie il est impossible de sophistiquer.

Certains esprits étroits vont jusqu'à réprouver la pasteurisation des jus ou des vins, et l'emploi des levures pures pour la fermentation.

Pourtant la pasteurisation est une sorte de demi-cuisson, et personne

n'oserait dire que nous ne devons plus cuire nos aliments, ni prendre de boissons chaudes. Quant aux levures pures, celui qui veut améliorer ainsi son vin agit comme l'éleveur qui achète un étalon de bonne race pour améliorer son bétail. C'est exactement le même objectif et le même résultat.

En dehors de toute question de viticulture proprement dite, ou d'économie rurale, fiscale ou douanière, nous sommes en présence d'une situation grave qui est celle-ci :

1° La France produit trop de vin pour ses besoins ; il faut absolument qu'elle arrive à exporter son trop-plein ;

2° Les jus de raisin sont dans des conditions plus difficiles qu'autrefois en raison des germes morbides ;

3° Il y a quantité de vins à degré alcoolique trop faible parce qu'on a planté force vignes dans les pays de plaine.

L'Ingénieur, sans remonter aux causes de cette situation qu'il n'a pas faite, doit s'efforcer de tirer le meilleur parti possible du produit souvent médiocre qu'on lui donne à travailler. L'installation de vineries bien outillées et bien dirigées lui permettra d'étouffer les germes de maladies et de faire des vins sains et robustes.

Enfin la puissance commerciale de ces vineries permettra d'aborder directement le marché, non seulement en France, mais également à l'étranger, comme le font les fromageries et beurreries centrales qui se sont fondées dans ces dernières années.

M. Barbet signale tout de suite une grosse difficulté que l'ingénieur va rencontrer : c'est que les vendanges ne durent que de 15 à 20 ou au plus 25 jours. Si l'on ne trouve pas un moyen de tourner la difficulté, la vinerie va n'avoir que 20 jours de travail par an pour amortir les frais de son outillage mécanique. Ce seraient des conditions presque insurmontables pour le prix de revient ; mais le problème a été résolu ; la vinerie, on le verra plus loin, pourra faire ses fermentations pendant 10 ou 12 mois si elle le veut.

L'Ingénieur va améliorer les vins qu'il produira industriellement par trois moyens :

Par la stérilisation totale des moûts avant fermentation ;

Par l'expulsion de toutes les mauvaises odeurs naturelles dues au terroir ou aux moisissures du raisin ;

Par l'emploi de levures pures de grandes races pour effectuer la fermentation.

La stérilisation est bien nécessaire, non seulement pour tuer les microorganismes, mais également pour anéantir certaines diastases et notamment les oxydases qui provoquent « la casse » des vins. Actuellement, les viticulteurs ne se mettent à l'abri de la casse qu'en employant du bisulfite de potasse qui reste à demeure dans le vin, au grand détriment de nos estomacs.

Les maladies du raisin donnent une mauvaise odeur au jus, odeur qui va en s'accentuant si on laisse les germes évoluer et se développer dans le vin pendant la fermentation. Cette accentuation ne se produira plus si l'on a stérilisé le jus ; mais il y a déjà de l'odeur de pourriture grise, de mildiou, d'oïdium, etc... au moment même où l'on foule le

raisin. Ces odeurs sont volatiles, et l'on peut les chasser par une distillation convenable du jus avant sa fermentation. On voit tout de suite que le jus se trouvera stérilisé *ipso facto*.

Un jus stérile ne peut plus fermenter que si on l'ensemence à nouveau. L'on y emploiera des levures qui produiront leur plein effet, justement parce que le jus aura été totalement stérilisé. On peut dire en effet que si l'usage des levures pures n'a donné jusqu'ici qu'une faible proportion de bons résultats, cela provient uniquement du mode d'emploi défectueux dans des moûts non stérilisés au préalable.

Il est absolument hors de doute que la race de la levure a une influence manifeste sur les propriétés odorantes du vin, mais peu sur les qualités dégustatives, parce que celles-ci dépendent davantage des matières fixes dissoutes dans le liquide.

Le bénéfice à obtenir des opérations ci-dessus, c'est d'abord de n'avoir plus de défauts (plus d'odeurs préexistantes de pourriture, ni de produits mal odorants de fermentation vicieuse), et ensuite d'obtenir un certain anoblissement du vin par la race de la levure. Il y a encore l'avantage d'avoir un vin bien portant qui ne risquera plus de de casser, de tourner ou de s'acidifier à l'approche du printemps. Ces vins, bien guéris et bien fermentés, pourront se conserver d'une année à l'autre tout comme les vins de grande race.

Reste à résoudre le problème de l'amortissement du matériel industriel.

En voici la solution : chaque viticulteur continuera à faire sa propre vendange et à la presser par les moyens qu'il possède ; seulement, au lieu de mettre les jus en fermentation, il ne les enverra en cuves que *mutés* à l'acide sulfureux pour empêcher au contraire toute fermentation. Les jus ainsi stérilisés peuvent se conserver un an si l'on veut ; l'opération du mutage est très rustique et très simple.

La vinerie centrale achètera ces jus mutés, en prendra livraison au fur et à mesure de ses besoins, et en opérera la désulfitation intégrale, de telle sorte que les jus seront remis exactement dans l'état où ils se trouvaient à la vendange, mais stérilisés.

M. Barbet montre le schéma d'une installation industrielle telle qu'elle a fonctionné cette année à la vinerie des Mathes (Charente-Inférieure). C'est un seul et même appareil continu qui opère simultanément toutes les opérations : expulsion du gaz sulfureux, enlèvement des odeurs de terroir et de pourriture, destruction des oxydases et stérilisation totale du moût sucré. L'appareil, pour atteindre à ce résultat multiple, emploie simultanément le vide, la chaleur et une abondante injection d'air qui se fait par l'aspiration due au vide. La configuration de l'appareil est à peu près celle d'une colonne distillatoire.

Le jus qui en sort n'a pas le goût de cuit, surtout après la fermentation qui lui rend toute sa fraîcheur. Avec des jus réputés pour donner des eaux-de-vie très défectueuses, on a obtenu au contraire des produits très francs, très droits et exempts de toute odeur de terroir ou de pourriture, bien que la vendange se fût faite dans des conditions déplorables.

On a travaillé aussi des jus mutés venus d'Oran ; ils ont donné des

vins qui n'avaient plus du tout le caractère des vins algériens, mais au contraire un cachet véritablement agréable et même distingué.

Voici les autres conséquences que l'on pourra tirer de ce nouveau travail industriel :

Conservation des jus très sucrés en vue de la fabrication des mistelles au fur et à mesure des besoins.

Possibilité de faire des vins de tempérance (non fermentés) et cela non seulement en France même, mais encore dans les pays d'outremer comme l'Amérique.

Exportation des jus mutés, à condition de construire à l'étranger les vineries centrales destinées à utiliser ces jus. Les jus sulfités se transportent sans altération, tandis que les vins communs ne peuvent résister à la chaleur de la cale des navires.

Les vineries pourront être construites dans le voisinage des grands centres de consommation, elles travailleront les jus en vue de produire des vins doux, des mistelles, des vins champagnisés. De même on pourra opérer sur les jus de pommes sulfités pour faire en toute saison du cidre mousseux que l'on portera directement chez le consommateur.

Enfin, comme dit plus haut, les vins fermentés, suivant ces nouvelles méthodes, seront assez sains pour supporter dorénavant le transport à l'étranger, chose que l'on ne peut faire aujourd'hui qu'avec les vins de race.

Que l'on exporte à l'état de vin ou à l'état de jus sulfité, c'est toujours de l'exportation ; c'est l'allègement si désirable du marché français.

Enfin c'est un certain nivellement des cours par la possibilité de conserver les jus ou les vins d'une année sur l'autre tout comme cela existe pour les grains.

Dernière considération : les vineries centrales étant organisées industriellement avec tout un outillage à vapeur et de force motrice, et possédant aussi un bon personnel technique, pourront s'annexer la distillation des marcs, l'extraction de la crème de tartre, de la glycérine des vinasses, etc. En un mot, elles pourront faire l'utilisation rationnelle de tous les sous-produits de la vigne, généralement gaspillés aujourd'hui.

M. Barbet conclut en disant que, quelle que soit l'opinion qu'on puisse avoir sur la viticulture et sur le commerce des vins, il pense avoir démontré que l'intervention de l'Ingénieur va apporter des armes nouvelles à la culture de la vigne ou du pommier pour triompher des difficultés de l'heure présente.

Chacun son métier, dit le proverbe. La prospérité renaîtra lorsque le viticulteur fera comme le betteravier, et qu'il confiera à l'Ingénieur le soin d'industrialiser ses produits avec toutes les ressources de sa science professionnelle et de ses influences commerciales.

M. Barbet répète, en terminant que, dans toute cette étude, il n'a entendu parler que des vins communs qui sont du reste la majorité de la production, tandis que nos grands crus, si célèbres à l'étranger, constituent une aristocratie irréprochable et intangible. Elle restera longtemps encore à l'abri de toute déchéance, grâce à l'expérience séculaire que nos grands vignerons se lèguent de génération en génération.

M. P. Besson fait observer que l'exportation des vins français s'élève actuellement à environ 300 millions de francs et qu'en permettant l'exportation de jus ordinaires, que l'on transformera en vins à l'étranger, il est à craindre que les vins de Bordeaux, de Bourgogne, de Champagne ne subissent de ce fait un abaissement considérable de vente. Ce serait une mauvaise combinaison que, pour favoriser l'exportation de vins de deuxième catégorie, l'on supprime l'exportation de vins dits de luxe.

A son avis, s'il y a pléthore de vins de deuxième catégorie, cela tient à ce que, dans le Midi, on a sacrifié la quantité à la qualité. Il faudrait donc remplacer les cépages d'Aramon, de Bouschet, d'Alicante par des cépages donnant des vendanges de meilleure qualité.

Il ne croit pas que la fabrication industrielle du vin puisse apporter une amélioration; et il croit qu'avec la méthode employée par M. Barbet la loi sur la fraude peut être appliquée.

M. E. Barbet répond qu'en ce qui concerne la question de viticulture agricole, il est pleinement d'accord avec M. Besson. Mais il n'a pas entendu se poser en réformateur de l'agriculture. Il s'est placé dans la situation actuelle et n'a cherché qu'à tirer le meilleur parti possible des produits viticoles, dont on ne sait que faire à cause de la surproduction, en appliquant l'art de l'Ingénieur, qui est toujours de tâcher de faire mieux.

De même qu'il laisse aux agriculteurs le soin de réformer les questions de viticulture, il ne s'occupe pas de l'application de la loi sur les fraudes, qui relève de l'économie politique.

Le problème traité est ainsi nettement posé. Il reste convaincu que sur ce terrain industriel, relevant seul de l'Ingénieur, les méthodes scientifiques et techniques exposées sont pleinement justifiées.

M. le Président remercie M. Barbet de sa très intéressante communication sur l'industrialisation de la fermentation des vins. Le sujet est un peu aride et nouveau à la tribune de la Société des Ingénieurs civils; mais il est certain d'être l'interprète unanime de l'Assemblée en disant que tous ses Collègues sont restés sous le charme de la parole élégante du conférencier.

M. Barbet, nouveau Membre du Comité, paie sa bienvenue dans la Section de Physique et de Chimie industrielle par une communication vraiment magistrale.

M. le Président, avant d'ouvrir la discussion sur la communication de M. Dumesnil sur *la Soudure autogène des métaux*, rappelle qu'à la suite de cette communication, faite dans la séance du 6 octobre 1905, M. Arnoux, partisan de la soudure oxhydrique, répondait d'abord par lettre à M. Dumesnil, et qu'à la suite de cette lettre M. Fouché écrivait à son tour pour contester les dires de M. Arnoux et montrer les avantages de la soudure oxyacétylénique.

En présence de cette polémique, le Bureau de la Société décida de mettre à l'ordre du jour la discussion de la communication de M. Dumesnil pour que toutes les opinions puissent être présentées devant la Société.

M. Dumesnil a la parole pour répondre aux lettres de MM. Arnoux et Fouché.

M. Dumesnil commence par rendre hommage à la valeur technique des deux Collègues, MM. Arnoux et Fouché, qui lui ont fait l'honneur de répondre à sa communication du 6 octobre dernier.

En ce qui concerne la lettre de M. Fouché, M. Dumesnil donne quelques détails succincts sur les différences existant entre le chalumeau « le Simplex » et le chalumeau de M. Fouché, ainsi que sur les avantages et inconvénients pouvant résulter de ces différences.

M. Dumesnil dit ensuite s'associer pleinement aux objections que M. Fouché a faites aux affirmations contenues dans la lettre de M. Arnoux.

Au sujet du reproche qui avait été fait au chalumeau oxyacétilénique, de dégager de l'oxyde de carbone, M. Dumesnil donne lecture d'un extrait du compte rendu de l'Académie des Sciences du 15 janvier dernier, dans lequel M. Moissan couvre de sa haute autorité les expériences faites par M. Maurichau-Beaupré sur cette question; M. Moissan signale, en particulier, que les conditions dans lesquelles travaillent les chalumeaux oxyacétyléniques habituels sont la cause de la production d'une quantité notable d'ozone et de composés oxygénés de l'azote; de plus, il a fallu employer des appareils très sensibles pour déceler la présence d'oxyde de carbone dont la proportion a été reconnue inférieure à un cent-millième.

M. Dumesnil rappelle que M. Fouché a déjà répondu à M. Arnoux au sujet de la soi-disant formation de fonte dure et cassante, aux endroits soudés par les procédés oxyacétyléniques.

M. Dumesnil signale, de plus, en ce qui concerne le cuivre, qu'il est reconnu depuis longtemps que le chalumeau oxhydrique est celui qui donne les meilleurs résultats; il signale cependant que des essais effectués depuis quelques mois lui ont permis d'arriver à souder à l'autogène des pièces de cuivre d'une façon très satisfaisante en remplaçant dans un chalumeau oxyacétylénique ordinaire l'acétylène par le gaz d'éclairage; on peut de même arriver aussi à souder des tôles de fer de faibles épaisseurs et, par un dispositif spécial, effectuer le découpage des métaux.

M. Dumesnil signale l'économie qui résulte de cet emploi du gaz d'éclairage remplaçant ainsi l'hydrogène comme combustible et termine en remerciant la Société des Ingénieurs Civils d'avoir bien voulu remettre la soudure autogène à l'ordre du jour de ses séances.

M. R. Arnoux estime d'abord que la discussion doit rester sur le terrain purement technique, les questions d'intérêts commerciaux, de brevets et de personnes ne pouvant intéresser à aucun point de vue les membres d'une Société comme celle des Ingénieurs civils.

Il fait observer ensuite que tous les procédés de soudure autogène des métaux étant basés sur la chaleur produite par la combustion de gaz combustibles divers (hydrogène, acétylène, gaz d'éclairage etc.) avec un *comburant unique, l'oxygène*, qui est commun à tous les procédés et qui est aussi, il ne faut pas l'oublier, le produit le plus coûteux, toute la

question se résume en ceci : déterminer le meilleur combustible à employer.

Les qualités qu'on doit exiger d'un bon combustible destiné à la soudure autogène des métaux sont au nombre de quatre :

1° Produire, avec l'oxygène, une température suffisante pour assurer la fusion du métal ;

2° Ne pas altérer ou dénaturer celui-ci ;

3° Etre d'un prix peu élevé ;

4° Ne pas dégager de gaz délétères susceptibles d'intoxiquer le personnel opérateur.

L'hydrogène, le plus ancien des combustibles employés *industriellement*, produit des températures plus que suffisantes pour toutes les applications ; il présente les deux avantages, qui n'ont jamais été contestés, d'être sans action chimique sur les métaux à souder et de ne pas intoxiquer le personnel opérateur, puisque sa combustion ne peut donner lieu qu'à un dégagement de vapeur d'eau. Enfin comparé à l'acétylène préparé sur place, il est, pour le consommateur, d'un prix de revient pas plus élevé, si l'on fait intervenir, ce que M. P. Dumesnil a oublié dans ses calculs, les frais d'entretien et d'amortissement du matériel générateur d'acétylène dont le défaut de *mobilité* est très souvent une gêne pour nombre d'applications.

L'acétylène, dont l'emploi est postérieur à celui de l'hydrogène produit également des températures plus que suffisantes pour toutes les applications, mais l'énorme proportion de carbone qu'il contient, plus de 92 0/0 en poids, et l'extrême facilité avec laquelle ce carbone se sépare, se dissocie de l'hydrogène, en font un combustible éminemment susceptible de *carburer* et, par conséquent de dénaturer les métaux à souder et cela en raison même des très hautes températures développées lesquelles facilitent la formation des carbures métalliques.

On sait que l'acétylène C^2H^2 est, comme tous les corps explosifs par eux-mêmes, une combinaison *endothermique* et, par conséquent, très instable de deux atomes de carbone avec deux atomes d'hydrogène. Cette instabilité des molécules d'acétylène est due à ce fait qu'il convient de bien mettre en lumière, que leurs deux constituants, carbone et hydrogène, sont deux corps dont l'un, le *carbone*, a les propriétés *attractives des solides même aux plus hautes températures* et dont l'autre, l'*hydrogène*, a les propriétés *répulsives* des gaz, de sorte que chaque molécule d'acétylène obéit à une force qui est la différence des forces répulsives et attractives de ses deux constituants.

D'autre part, le carbone étant un corps *quadrivalent*, c'est-à-dire susceptible de s'unir à quatre atomes d'hydrogène, il s'en suit que des 4 *valences* de chaque atome de carbone, une seule étant satisfaite dans les molécules d'acétylène, celles-ci n'ont qu'une très faible action répulsive les unes sur les autres. Dès lors la moindre action mécanique ou thermique peut suffire en rapprochant suffisamment les molécules, pour rendre prépondérantes les forces attractives et faire se précipiter les unes sur les autres les molécules de carbone. La chaleur développée, conséquence de ce conflit, se dégageant dans un temps extrêmement court, il

en résulte des températures extrêmement élevées évaluées par M. H. Le Chatelier à près de 4 000 degrés.

Dans le dard du chalumeau oxyacétylénique on constate deux zones très nettement délimitées par leur différence de luminosité, la *zone de dissociation et la zone de combustion*. La zone de dissociation située à l'intérieur du dard oxyacétylénique est, contrairement à ce qui se passe dans les flammes ordinaires, à une température beaucoup plus élevée que la zone enveloppante. La température de cette zone étant, comme il vient d'être dit, de près de 4 000 degrés, c'est-à-dire de beaucoup supérieure à la température de combinaison et, par conséquent, de décomposition des éléments constitutifs, ceux-ci ne peuvent y exister qu'*à l'état libre* (1). Et c'est précisément en raison de la présence *à l'état libre* du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène dans cette partie de la flamme qu'il faut se garder de l'utiliser pour échauffer le métal, sous peine de voir celui-ci se *carburer* et s'*oxyder*.

Seule, la zone de combustion qui enveloppe la zone de dissociation, doit être utilisée pour l'échauffement et la fusion du métal. Or, comme ces deux zones sont très mal définies, très mal délimitées précisément dans la partie de la flamme qui est utilisée pour cet échauffement, on conçoit aisément combien il est difficile d'obtenir une soudure homogène régulière et solide avec le chalumeau oxyacétylénique.

D'autre part, si on veut éviter la production de gaz délétères susceptibles, comme l'oxyde de carbone, d'intoxiquer le personnel opérateur, il est de toute nécessité d'introduire dans la flamme du chalumeau oxyacétylénique la quantité d'oxygène suffisante pour brûler complètement le carbone, c'est-à-dire le transformer entièrement en acide carbonique.

Or, pour obtenir la combustion complète d'un volume donné d'acétylène, il faut non pas *un*, mais *deux volumes et demi* d'oxygène suivant l'équation de réaction :

$$C^2H^2 + 5O = 2C + 2H + 5O = 2CO^2 + H^2O$$
$$2 \text{ vol.} + 5 \text{ vol.} \quad \text{dissociation} + \text{combustion.}$$

Si, au contraire, on n'emploie, comme on le fait dans tous les chalumeaux oxyacétyléniques, que *volumes égaux* d'acétylène et d'oxygène, la combustion du carbone ne peut être qu'incomplète et il y a, dans ce cas, comme l'a indiqué à M. Berthelot, l'analyse des produits de la combustion, production *d'oxyde de carbone*, de vapeur d'eau, d'hydrogène et de *carbone libre* suivant la formule de réaction :

$$2C^2H^2 + 4O = 4C + 4H + 4O = 3CO + H^2O + 2H + C$$
$$4 \text{ vol.} + 4 \text{ vol.} \quad \text{dissociation} + \text{combustion.}$$

De sorte que, même en maniant avec habileté le chalumeau oxyacétylénique de façon à éviter le contact avec le métal de la partie de la flamme contenant le carbone et l'oxygène à l'état libre, on risque, dans le premier cas, d'*oxyder* le métal par excès d'oxygène et, dans le second

(1) Une autre raison mettant en évidence l'existence du carbone à l'état libre dans cette zone est précisément son extrême luminosité, car on sait qu'une flamme n'est lumineuse qu'autant qu'elle contient des particules *solides*.

cas, de *carburer* celui-ci par excès de combustible, ce qui ne peut arriver avec l'hydrogène employé comme combustible unique, puisque celui-ci est sans action sur le métal.

Pour se résumer, M. R. Arnoux estime que l'hydrogène est et restera toujours le combustible de choix chaque fois qu'on voudra obtenir des soudures toujours bien régulièrement *homogènes et solides*, des soudures sur lesquelles on puisse toujours compter et chaque fois aussi qu'on aura le souci de ne pas intoxiquer son personnel.

M. Fouché discute d'abord le mémoire de M. Dumesnil et rétablit l'ordre des faits qui ont progressivement amené à la Soudure oxy-acétylénique.

Depuis l'apparition de l'acétylène jusqu'en 1902, tous les acétylénistes un peu chercheurs rêvaient, mais sans y pouvoir parvenir, de réaliser avec l'acétylène et l'oxygène l'incandescence de la chaux, prévoyant qu'on obtiendrait ainsi une intensité lumineuse remarquable.

Le problème, mis à l'étude dans un but plus général, au laboratoire de la Compagnie Française de l'Acétylène dissous, aboutit, après plus d'une année de recherches, à un premier résultat obtenu en saturant l'acétylène de vapeur d'éther ; résultat qui a été présenté en son temps par M. Fouché à la Société française de physique.

En revenant au problème plus modeste de la production de lumière oxy-calcique, on est parvenu, dans le même laboratoire, à constater qu'il était possible, contrairement à l'opinion courante, de maintenir la flamme du mélange oxy-acétylénique à l'extrémité d'un tube, à condition que ce tube fût petit et la vitesse d'émission très grande (100 m environ par seconde). Le chalumeau oxy-acétylénique était dès lors créé et mis en service en 1902.

Cet appareil, qui exigeait pour l'acétylène une pression de 4 m d'eau environ, a été présenté par M. Bourdil à la Société des Ingénieurs Civils le 6 novembre 1903.

La Compagnie Universelle d'Acétylène, intéressée par les premiers résultats obtenus, construisit immédiatement un chalumeau à peu près semblable au précédent, exigeant aussi une pression de plusieurs mètres d'eau, et créa pour l'alimenter un générateur spécial dans lequel l'eau placée, à 2 ou 3 m au-dessus du carbure de calcium engendre de l'acétylène sous une pression correspondant à cette charge d'eau.

C'est alors que, pour favoriser l'extension du nouveau procédé de soudure, M. Fouché résolut de supprimer complètement la nécessité de la pression, en se servant, comme cela a été publié à l'époque, d'une trompe ou d'un injecteur, à l'aide duquel l'oxygène, sous une pression de une ou deux atmosphères, entraine l'acétylène qui n'a besoin alors d'autre pression que celle adoptée usuellement pour l'éclairage.

L'appareil ainsi créé, possédant les qualités nécessaires à un bon et durable fonctionnement, se répandit rapidement dans l'industrie dès le commencement de 1903.

Enfin l'année suivante apparut dans le commerce le chalumeau Simplex qui ne paraît pas présenter de différence sensible avec le précédent.

L'auteur du mémoire dit bien que cet appareil comporte une succes-

sion de trompes d'Alvergniat, et ajoute plus loin que c'est une application nouvelle du système des trompes, mais la succession de trompes ne se voit ni sur le dessin publié, ni dans les appareils livrés au commerce, dans lesquels il n'y a qu'un seul injecteur, et d'autre part l'application d'une trompe au chalumeau oxy-acétylénique n'est plus nouvelle ayant été publiée dès la fin de 1902.

En ce qui concerne l'appareil générateur décrit au mémoire, du type « à chute d'eau », le gaz n'est pas produit à froid et il n'est pas épuré, car il y subsiste les polymères de l'acétylène et l'hydrogène phosphoré, qui sont les impuretés les plus graves.

L'affirmation relative à une consommation d'oxygène moindre que celle d'acétylène est en contradiction avec les résultats généralement admis.

Tout le monde est actuellement d'accord pour reconnaître que la proportion des gaz nécessaires à une flamme bien réglée ne dépend nullement des dispositifs intérieurs du chalumeau. La quantité d'oxygène est légèrement supérieure et au grand minimum égale à celle d'acétylène et cette proportion n'est faussée dans un sens ou dans un autre que par l'impureté des gaz employés. L'erreur du mémoire à ce sujet provient ou de ce que la flamme du chalumeau est mal réglée, ou de ce que le générateur admet une quantité appréciable d'air à chaque charge de carbure, ce qui serait un défaut à porter au passif de cet appareil.

En ce qui concerne la critique de M. Arnoux relative à un excès nécessaire d'acétylène entraînant la carburation du fer, M. Fouché fait observer que, avec l'hydrogène, il est nécessaire en effet d'employer un grand excès de combustible pour lutter par le pouvoir réducteur de ce gaz contre l'action oxydante de la vapeur d'eau. Aussi pour un volume d'oxygène, emploie-t-on, pratiquement cinq et même six volumes d'hydrogène au lieu de deux volumes théoriques. Avec l'acétylène rien de semblable. La première phase de la combustion déterminée par l'oxygène introduit donne lieu à de l'oxyde de carbone et à de l'hydrogène qui n'ont aucune action oxydante. Aussi, un excès d'acétylène n'est-t-il pas nécessaire pour lutter contre une oxydation qui n'existe pas, et c'est pourquoi la proportion théorique des volumes égaux est sensiblement vérifiée par la pratique. Cette absence de carburation est parfaitement démontrée par la nature des soudures obtenues qui sont malléables et douces à la lime.

La critique relative à la température très élevée du dard du chalumeau oxy-acétylénique est dénuée de fondement, parce que le bain de fusion en contact avec le métal non encore fondu ne se met nullement en équilibre de température avec la flamme.

La question de la production de l'oxyde de carbone susceptible de compromettre la santé des ouvriers a été tout récemment tranchée (voir les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, décembre 1905 et janvier 1906). Le chiffre sensationnel de 9/100 000es produit par les partisans du procédé oxhydrique n'est dû qu'à un mauvais emploi de l'appareil de MM. Lévy et Pécoul, qui n'a pas été imaginé pour les analyses industrielles des gaz, mais simplement pour l'analyse de l'air plus ou moins respirable des locaux habités ordinaires. M. Maurichéau-Beaupré, dans

lè laboratoire de la Société Commerciale du Carbure de Calcium a montré que les produits nitreux qui accompagnent toujours ces combustions très vives agissent de même que l'oxyde de carbone sur l'appareil sus indiqué, de sorte que l'on arrive à déceler ainsi de l'oxyde de carbone dans la combustion de l'hydrogène avec l'oxygène, ce qui est plûtot surprenant.

En prenant toutes les précautions voulues pour éliminer les gaz susceptibles de fausser les résultats, on trouve que la combustion de l'acétylène avec le chalumeau oxy-acétylénique ne donne pas de traces d'oxyde de carbone appréciables avec l'appareil Lévy et Pécoul, cependant extrêmement sensible.

Pour ce qui est de la qualité des soudures obtenues par l'acétylène, qui seraient beaucoup plus cassantes que celles faites avec l'hydrogène, il suffit, pour réfuter cette critique d'indiquer les résultats qui viennent d'être donnés tout recemment en Allemagne, dans les ateliers de Julius Pintsh pour l'acétylène et au laboratoire de Lichterfeld pour l'hydrogène. L'allongement proportionnel est, par rapport à l'allongement initial, 70 0/0 dans le cas de l'acétylène et 41 0/0 dans le cas de l'hydrogène. On voit ainsi que si les partisans de la soudure oxhydrique peuvent citer des exemples à leur avantage, il n'est pas difficile aux acétylénistes d'en produire dans un sens complètement opposé. On ne parle pas ici de la résistance à la rupture parce que, dans les essais précités, cette résistance a été la même que celle du métal initial, aussi bien avec un procédé qu'avec l'autre.

M. le Président remercie M. Fouché de ses explications et fait donner lecture d'une lettre de M. G. Jaubert, docteur ès sciences, directeur de la *Revue des Sciences*, traitant de la question de la soudure autogène. Cette lettre est ainsi conçue :

Monsieur le Président,

La récente communication de M. Dumesnil sur la soudure autogène des métaux au moyen du chalumeau à oxygène (et acetylène) le « Simplex » a provoqué entre MM. Arnoux, administrateur de la Société l'Oxhydrique française, et Fouché, l'*inventeur* du chalumeau qui porte son nom, une discussion fort intéressante sur les avantages et les inconvénients respectifs qu'il y a à employer comme combustible dans le chalumeau à oxygène, des gaz *comme l'hydrogène* ou *l'acétylène*.

Au cours de cet échange d'idées, il a été dit, entre autres choses, que l'emploi de l'acétylène dans le chalumeau à oxygène *provoquait un abondant dégagement d'oxyde de carbone*.

Cette objection était grosse de conséquences, car chacun connait la *toxicité de l'oxyde de carbone*, et si le fait était reconnu exact, c'est-à-dire si le chalumeau oxy-acétylénique produisait un *dégagement si petit soit-il d'oxyde de carbone*, il devenait impossible d'en autoriser l'emploi dans les ateliers métallurgiques.

L'acétylène brûlé à l'air libre ne *produisant pas d'oxyde de carbone*, comment pouvait-il se faire que ce même acétylène brûlé avec de l'oxygène pur allait donner lieu à la formation de ce gaz toxique ?

C'était bien invraisemblable.

Néanmoins les expériences étaient probantes : un appareil de Lévy et Pécoul placé à 1,25 m du chalumeau oxy-acétylénique donnait au bout d'un quart d'heure une réaction fort nette, démontrant la présence de l'oxyde de carbone.

J'ai pensé que c'était peut-être *l'appareil* qui était *le coupable*, et *non le chalumeau*, et les expériences que j'ai entreprises m'ont démontré la *justesse* de cette hypothèse.

On sait que la méthode de dosage de l'oxyde de carbone de MM. Lévy et Pécoul consiste à faire passer l'air à analyser, d'abord au travers d'une couche d'acide iodique anhydre, contenu dans un tube en U chauffé au bain-marie, puis à faire barboter l'air s'échappant du tube, dans du chloroforme qui dissout l'iode mis en liberté, et se colore en rouge. L'intensité de la teinte est appréciée au moyen d'une gamme de liquides colorés.

Il était intéressant de rechercher si le gaz acétylène aurait une action quelconque sur l'acide iodique anhydre.

Je renverrai pour la partie expérimentale à la note que M. Moissan a présentée en mon nom à la dernière séance de l'Académie des Sciences (séance du 26 décembre 1905), note intitulée « Action de l'acétylène sur l'acide iodique anhydre » ; j'en retiendrai simplement les conclusions :

Le gaz acétylène donne avec l'appareil de MM. Lévy et Pécoul exactement la même réaction que l'oxyde de carbone, mais avec une intensité cinq fois plus forte.

Comme l'emploi du chalumeau oxy-acétylénique exige l'usage de tubes en caoutchouc pour l'amenée des deux gaz au chalumeau, tubes qui sont toujours un peu perméables, et qu'en outre, au moment de l'allumage il est bien difficile d'éviter la perte d'un peu d'acétylène (témoin la légère odeur caractéristique qui règne dans les locaux où l'on fait usage de ce gaz), *c'est l'acétylène, selon moi*, qu'il faut rendre responsable de la présence *apparente* d'oxyde de carbone qu'indique l'appareil de MM. Lévy et Pécoul. La preuve, nous la trouvons dans le fait que si l'on recherche la présence de l'oxyde de carbone dans un local où l'on fait usage du chalumeau oxy-acétylénique par un autre procédé que celui à l'acide iodique, on n'arrive pas à en trouver.

J'ai pensé, Monsieur le Président, que ces recherches, quoique d'un tout autre ordre que celles qui font l'objet de vos travaux habituels, pourraient présenter quelque intérêt pour un certain nombre des membres de la Société des Ingénieurs Civils.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, etc.

Georges JAUBERT,
Docteur ès-sciences.

M. BOURDIL, qui devait prendre la parole pour donner quelques renseignements au sujet de l'acétylène dissous, dit que M. Fouché a rendu justice à ce dernier et que, par conséquent, il n'est pas en discussion n'ayant rien à ajouter à ce qui vient d'être exposé.

M. BROCQ rappelle que, lors de la visite de la Société à l'usine de la Société « l' Air liquide », M. Claude a fait exécuter la découpure de tôles d'acier avec un *chalumeau à gaz* d'éclairage et d'oxygène.

M. Dumesnil ajoute que si certaines pièces soudées par le système oxya-cétylénique ont été rendues cassantes, cela provenait probablement de ce que l'ouvrier soudeur avait mal opéré ; il en est de même d'ailleurs, d'après lui, avec un mauvais ouvrier se servant d'un chalumeau oxhydrique car alors il peut arriver que les pièces soient oxydées dans le travail.

M. Dumesnil tient à répondre aux chiffres donnés par M. Fouché permettant, d'après celui-ci, de fixer à 75 ou 100 l la consommation d'acétylène par millimètre d'épaisseur soudé ; d'après M. Dumesnil la consommation en gaz ne croît pas proportionnellement à l'épaisseur, cette consommation étant sensiblement plus forte pour des tôles minces que pour des tôles épaisses.

Quant à l'emploi du gaz d'éclairage M. Dumesnil estime que le nombre de calories assez limité apporté par ce combustible ne permettrait pas d'effectuer d'une façon satisfaisante la soudure des pièces épaisses.

M. le Président dit qu'en effet le gaz d'éclairage courant ne renfermant pas plus de 5 500 calories, il y a, avec ce gaz, une limite de chaleur que l'on ne peut dépasser.

M. le Président remercie les Membres de la Société qui ont bien voulu prendre part à cette discussion intéressante : MM. Dumesnil, Arnoux, Fouché, ainsi que MM. Bourdil et Brocq, bien que ces deux derniers aient été beaucoup plus brefs que leurs Collègues.

Il estime que la Société des Ingénieurs Civils peut considérer cette discussion comme close.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de :

MM. A. Faiveley, G.-T. Harrap, R. Masse, J.-Ed.-L. Mercier, P. Sicault, M.-J.-A.-L. Son Dumarais, comme Membres Sociétaires Titulaires.

MM. A. Archambault de Vençay, E. Audbert, A. Gavois, J. de Lipkowski, L.-L. Rémond, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et

MM. P. Chaix, P.-Ch.-F.-J. Decourchelle, et M. A. Minne comme Membres Sociétaires Assistants.

La séance est levée à onze heures un quart.

L'un des Secrétaires techniques,
F. Clerc.

NOTE

SUR LES

MURS DE SOUTÈNEMENT EN MAÇONNERIE

AVEC ÉPERONS EN BÉTON ARMÉ

PAR

M. F. CHAUDY

On sait que les murs de soutènement, en béton armé, présentent cet avantage, sur les murs en maçonnerie, de faire entrer en ligne de compte, dans l'équilibre des poussées et des charges verticales, le poids propre des terres situées au-dessus de la dalle qui forme le pied du mur. On conçoit donc facilement que puisqu'on utilise, pour empêcher le renversement, des terres qui ne coûtent rien, le prix des murs en béton armé soit inférieur à celui des murs en maçonnerie, au moins à partir d'une certaine hauteur. J'ai pensé qu'il était possible et rationnel de combiner l'emploi de la maçonnerie ordinaire avec le béton armé et cela m'a conduit à l'idée des murs avec éperons dont la figure 1 représente la coupe transversale schématique.

La partie en maçonnerie du mur présente la forme habituelle d'un mur à parement extérieur vertical ou légèrement incliné et à parement intérieur à redents, de telle sorte que l'épaisseur augmente progressivement depuis le haut jusqu'au massif de fondation. Mais cette épaisseur est plus faible que celle qui serait nécessaire si on n'ajoutait pas, au droit de chaque redent, des plates-formes ou éperons en béton armé, sur lesquels les terres viennent exercer une pression verticale contre-balançant une partie de la poussée.

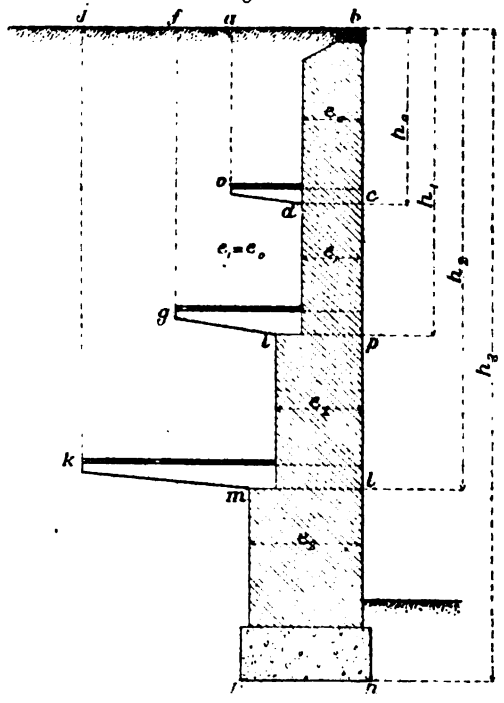
Il existe une relation entre l'épaisseur du mur en maçonnerie, la largeur des éperons et les diverses hauteurs auxquelles ces éperons sont placés.

Je vais, successivement, examiner les conditions de stabilité et de résistance en commançant par la partie supérieure du mur (*fig. 1*).

Soit h_0 la hauteur, qu'on peut fixer à 3 m environ, à partir de

laquelle le mur en maçonnerie cesse d'être moins économique que le mur en béton armé. L'épaisseur correspondante peut être approximativement fixée à 1 m. Augmentons la hauteur h_0 et considérons un mur de hauteur h_1, l'épaisseur e_0 étant conservée jusqu'à la section *ip*. L'équilibre n'existe plus dans ces conditions, et c'est pour le rétablir qu'intervient l'éperon *odc*. Cet éperon, supportant le poids des terres *aodb*, vient ramener la résultante de la poussée et des charges verticales (ces der-

Fig 1



nières représentées per le poids de la maçonnerie, celui des terres, et celui de la surcharge situées au-dessus de l'éperon) dans l'intérieur de la base *ip* du mur dont l'équilibre est ainsi assuré. Jusqu'à quelle limite peut-on aller pour la hauteur h_1? Au fur et à mesure qu'on augmente cette hauteur, il est nécessaire d'augmenter l'encorbellement *od* de l'éperon. Or, cet encorbellement lui-même ne peut indéfiniment augmenter, puisqu'il faut que l'encastrement dans le mur soit assuré. On déterminera donc la valeur maximum à attribuer à *od* par la satisfaction de cette condition que la résultante du poids du mur *dcb*, du poids de l'éperon *do* et du poids des terres et de la surcharge situées

au-dessus de ce dernier passe dans l'intérieur de la section *dc* du mur et ne donne pas, en *d*, un travail de compression trop élevé sur les maçonneries.

On voit que, pour cette détermination, je néglige la poussée des terres afin d'augmenter les conditions de sécurité pour l'encastrement de l'éperon.

od étant ainsi déterminé, on calculera la valeur de h_1 en satisfaisant à cette condition que la résultante de la poussée et des charges verticales agissantes passe dans l'intérieur de la section *ip* du mur et ne donne pas, en *p*, un travail exagéré sur les maçonneries.

On continuera ensuite, s'il y a lieu, c'est-à-dire si on n'est pas encore arrivé, avec h_1, à la hauteur totale que doit avoir le mur projeté, en déterminant la valeur à donner à l'encorbellement *gi*. Le maximum de cette valeur s'obtiendra en considérant la résultante du poids du mur *bip* et du poids représenté par les éperons *od* et *gi* ainsi que par les terres qui les recouvrent, et en satisfaisant à cette condition que cette résultante passe dans l'intérieur de la section *ip* du mur, tout en ne donnant pas, en *i*, un travail sur les maçonneries trop élevé. Il faut se donner, *a priori*, l'épaisseur e_2.

On déterminera la hauteur h_2 d'une manière absolument semblable à celle qui a été suivie précédemment pour déterminer h_1. Ensuite, on calculera la valeur à donner à l'encorbellement *mk*, après s'être donné l'épaisseur e_3. La hauteur h_3 se déterminera comme on a calculé h_2.

Dans le cas où, avec l'encorbellement maximum *mk*, la hauteur h_3 déterminée ainsi serait plus grande que la hauteur totale *h* prévue pour le mur, il suffirait de réduire la portée de cet encorbellement jusqu'à ce que la résultante des forces agissantes, qui passe dans l'intérieur de la section de base *nr*, donne, en *n*, un travail normal sur le sol.

On voit donc qu'on peut construire un mur de soutènement de n'importe quelle hauteur, dans lequel les maçonneries ont des épaisseurs réduites par rapport à celles des murs construits jusqu'ici, à la condition d'armer ce mur de plates-formes ou éperons à des hauteurs bien définies. On voit aussi qu'il est très simple de déterminer, dans chaque cas qui peut se présenter dans la pratique :

1° Le nombre des éperons à prévoir sur toute la hauteur du mur :

2° La position de chacun de ces éperons, c'est-à-dire la hauteur à laquelle il convient de les placer;

3° La portée de l'encorbellement de chaque éperon.

Ce nouveau système de construction trouve son économie dans l'utilisation du poids des terres elles-mêmes, puisque celles-ci interviennent pour rapprocher vers l'intérieur la résultante de la poussée et des charges verticales.

L'idée des éperons peut encore trouver son application dans le cas de surhaussement d'un mur de soutènement existant. Un mur A B C D (*Fig. 2*), dont l'épaisseur est juste suffisante eu

Fig 2

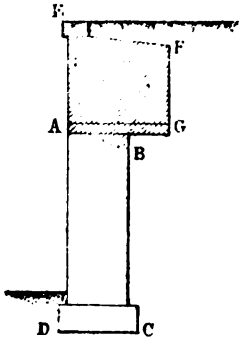


Fig 3

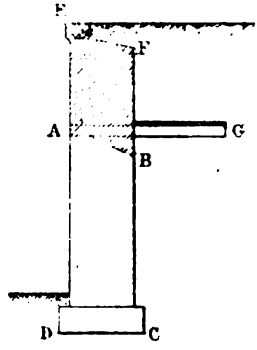


Fig 4

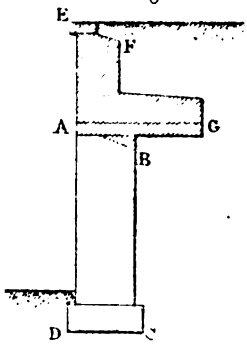
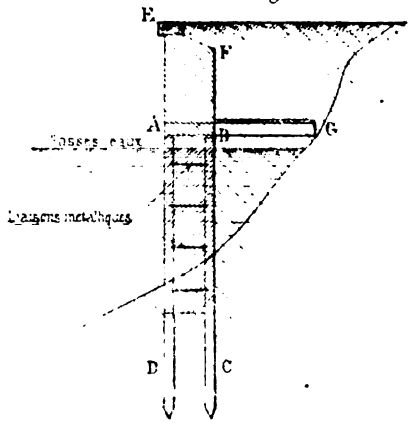


Fig 5



égard à la hauteur, peut être exhaussé jusqu'en E en l'engraissant au préalable en épaisseur. Mais cet engraissement a l'inconvénient d'exiger le déblaiement des terres à l'arrière du mur et la démolition partielle du parement B C, de manière à

assurer une bonne liaison entre la maçonnerie additionnelle et la maçonnerie ancienne.

Au contraire, il est plus simple de disposer, sur le sommet du mur, une plate-forme en béton armé A G, débordant en B G le parement intérieur, et de construire sur cette plate-forme la maçonnerie A G F E, dont l'épaisseur sera calculée de manière à faire entrer dans la base D C du mur la résultante des poids et de la poussée.

Au lieu de recouvrir entièrement et jusqu'au niveau du sol ou à peu près, par de la maçonnerie, la plate-forme en béton armé, on peut se contenter de surhausser le mur avec sa largeur actuelle *(Fig. 3)*. Dans ce cas, ce sont les terres elles-mêmes, dont le poids agit sur l'éperon B G, qui concourent à l'établissement de l'équilibre du système et donnent ainsi encore plus d'économie. Naturellement, l'importance de l'encorbellement B G est ici plus grande que dans le cas de la figure 2, puisque les terres ont un poids moindre que celui de la maçonnerie placée en encorbellement.

Enfin, il va de soi qu'on peut combiner les deux façons de construire indiquées ci-dessus, c'est-à-dire recouvrir l'encorbellement B G de maçonnerie et de terre, comme l'indique la figure 4.

On peut encore trouver avantage à employer un éperon dans la construction des murs de quai, en faisant la partie noyée du mur avec des pieux en béton armé réunis deux à deux, après enfoncement, par des liens métalliques et un remplissage général. Au-dessus de ce premier mur A B C D, on dispose l'éperon A B G et le mur A B F E *(Fig. 5)*. L'économie du système résulte, non seulement de l'utilisation du poids des terres situées au-dessus de l'éperon pour maintenir l'équilibre, mais encore de la facilité d'exécution de cet éperon au-dessus du niveau des eaux, facilité qu'on ne rencontre pas au même degré avec un mur entièrement en béton armé dont le pied est noyé.

LES CHARRUES D'ASIE

PAR

H. CHEVALLIER

ASIE OCCIDENTALE

Caïn fut laboureur, dit la Genèse, voilà déjà une antiquité suffisante; il est inutile de chercher à remonter plus loin. Les Hébreux étaient pasteurs et laboureurs; mais on ne connaît leurs anciens instruments que par des renseignements assez vagues. Cependant étant donnés la persistance des usages dans tout l'Orient et l'état rudimentaire des araires actuels, on peut admettre, sans se tromper, que nous avons encore sous les yeux des types fort anciens. Ils ont peut-être subi l'influence égyptienne ou assyrienne, à une époque reculée, mais il en reste peu de traces, car au XVII^e^ siècle avant J.-C., les Égyptiens avaient déjà deux mancherons à leurs charrues et les modèles syriens actuels n'en ont qu'un.

Ces araires étaient munis d'un soc en fer que l'on faisait aiguiser par les Philistins, qui avaient interdit aux Hébreux la profession de forgeron. L'attelage se composait de deux ânes ou de deux bœufs, le Deutéronome défendant d'atteler ensemble des animaux d'espèces différentes.

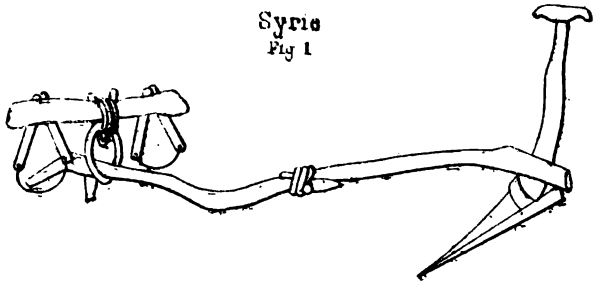
Chez les Phéniciens, l'invention du labourage était attribuée à leur dieu Dagon.

La charrue actuelle (*fig. 1*), qui rappelle certains anciens modèles égyptiens, se compose d'une pièce de bois courbée et pointue qui sert de sep et de mancheron et d'un age auquel on ajoute une flèche. Sous le sep on fixe le soc par un collier, le mancheron est terminé par une petite poignée.

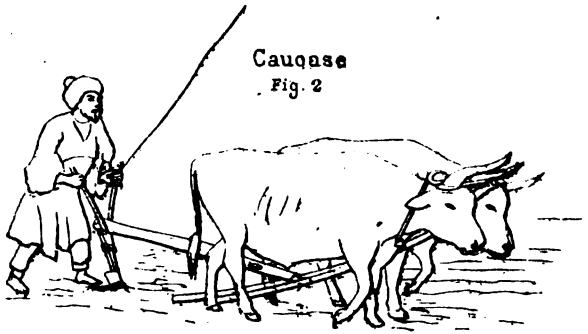
Le joug est formé d'une pièce de bois, brute ou équarrie, dans laquelle sont fixées huit chevilles, deux à chaque extrémité, avec des courroies à la partie inférieure, pour passer sous le cou des animaux, et deux au milieu pour retenir les cordes qui suspendent l'anneau qui soutient la flèche.

Dans sa mission en Phénicie, Renan a trouvé partout le

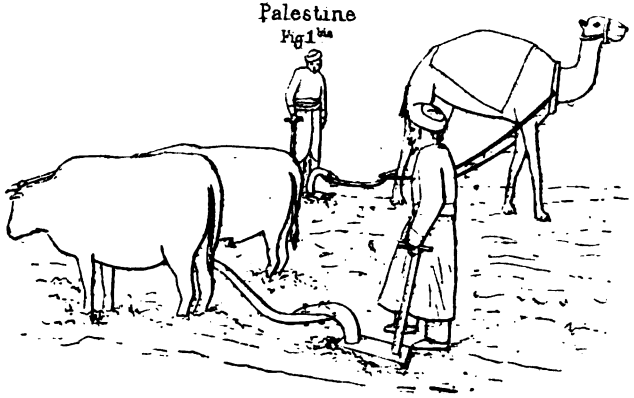
Syrie
Fig 1



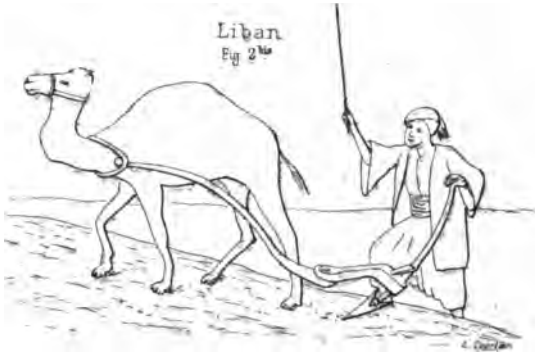
Caucase
Fig. 2



Palestine
Fig 1bis



Liban
Fig 2bis



traces d'un outillage agricole très supérieur à celui qu'emploient dans ces mêmes lieux les fellahs d'aujourd'hui.

La figure 1 *bis* représente une scène actuelle de labourage en Palestine : les charrues sont des charrues arabes analogues à celles que j'ai décrites dans les charrues d'Afrique ; l'une des charrues est attelée de deux bœufs et l'autre d'un chameau. Dans bien des cas on fait tirer par un seul âne.

En Mingrélie, madame Carla Serena a vu fonctionner un araire très simple dont elle donne la description suivante (*fig.* 2).

Un morceau de bois horizontal recourbé à angle aigu, auquel on adapte un bout de fer large comme la main ; une branche d'arbre torse est le timon où s'attelle la paire de bœufs ou de buffles ; ceux-ci vont sans conducteur, un homme marche derrière l'engin, le guide et règle avec la main le fer qui doit tracer le sillon ; aussi la surface du sol étant à peine entamée par le soc, le rendement de la glèbe est-il, en raison de ce labourage, essentiellement primitif.

M. Chantre a donné la photographie d'une charrue des environs d'Almadine (*fig.* 3). Elle est montée avec avant-train à roues et est tirée par trois paires de buffles ; c'est évidemment un type persan qui a subi l'influence russe. Un homme est assis sur le timon et excite les bêtes avec un aiguillon, tandis qu'un autre, assis sur le joug de la première paire des bœufs, dirige l'attelage.

Aux environs d'Ismidt, M. Dansatz a vu un araire sans oreilles et sans roues, qui, malgré sa simplicité, donne des résultats suffisants dans un sol fertilisé par des siècles de repos.

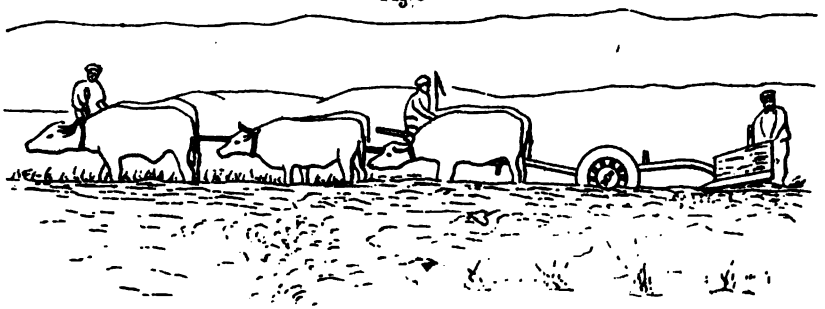
Il est probable que c'est l'araire arabe de la figure 1 *bis*, dont le peintre Vereschaghine, mort dans la catastrophe du cuirassé Petropavlowsk à Port-Arthur, a donné le dessin suivant (*fig.* 4) :

« Une branche fourchue sert à la fois de sep et d'age ; on y adapte en arrière un mancheron et sa poignée, en avant un soc en fer, maintenu par un collier ; l'age est prolongé par une flèche retenue par des cordes et des chevilles. »

Dans la Transcaucasie encore, Vereschaghine a reproduit une charrue perfectionnée, avec avant-train à roues (*fig.* 5).

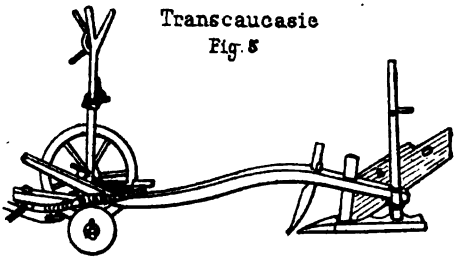
Le sep, large et plat, est pointu et ferré à l'avant ; à l'arrière, le traditionnel manche vertical sur lequel l'age est fixé au moyen de cordes ; un étançon relie cet age au sep et soutient un versoir formé d'une simple planche. En avant de l'étançon est un coutre d'une bonne forme, l'extrémité de l'age s'appuie sur un avant-train très primitif, muni de deux roues inégales. Grâce

Arménie
Fig.3

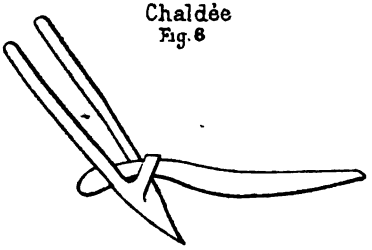


Transcaucasie
Fig.4

Transcaucasie
Fig.5

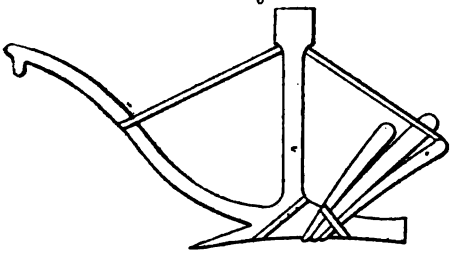


Chaldée
Fig.6

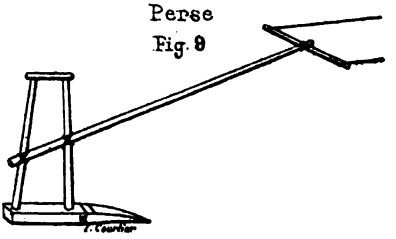


Chaldée
Fig.7

Assyrie
Fig.8



Perse
Fig.9



à la courbure de l'age et aussi à son mode d'attache sur le mancheron, on peut faire varier l'entrure dans certaines limites.

Les Chaldéens étaient un peuple de cultivateurs. Ils labouraient la terre avec de petites charrues tirées par des bœufs.

Nous ne possédions, jusqu'à ces dernières années, que peu de renseignements sur les charrues de la Mésopotamie. Heureusement la délégation en Perse, dirigée par M. de Morgan, a découvert à Suse, pendant son exploration de 1897-1899, un document du plus haut intérêt. C'est une pierre calcaire noire de forme ovoïde, sur laquelle est gravée une charte de donation du roi Coréen Melischu, en faveur de son fils Marduk-pal-idina (1144-1130 avant J.-C.). Cette pierre, connue sous le nom de Koudourrou n° III, porte, outre diverses représentations, une charrue ; c'est une sorte de fourche entre les branches de laquelle est attachée une flèche. Cette charrue *(fig. 6)* est tout à fait comparable à celle d'Égypte que j'ai décrite dans « les charrues d'Afrique » et qui remonte au XVII^e^ siècle. Il est impossible de ne pas remarquer qu'il y a là plus qu'un hasard, et qu'à ces époques reculées, les échanges étaient déjà fréquents entre la Chaldée et l'Égypte.

Un cylindre gravé, chaldéen, représente une scène de labourage *(fig. 7)*.

Un homme tient les deux mancherons d'une charrue analogue à la précédente. Cette charrue est tirée par deux bœufs attelés en flèche sur un même timon ; il est probable que ces deux animaux représentent deux paires de bœufs, les procédés de gravure n'étant pas assez perfectionnés à cette époque reculée pour permettre à l'artiste de montrer quatre animaux à une aussi petite échelle.

Deux hommes accompagnent l'attelage ; l'un l'excite avec un bâton, tandis que l'autre paraît plutôt occupé à guider (?) la charrue.

Un document plus récent fut trouvé dans les ruines de Khorsabad ; une des salles du harem du palais de Sargon est décorée de briques émaillées fort bien conservées et l'un des panneaux représente une charrue assyrienne de cette époque (VIII^e^ siècle avant J.-C.) ; il est probable que la pointe du sep était armée de métal, le double trait semble l'indiquer, et le versoir, formé de trois ailes inclinées, peut à juste titre passer pour l'ancêtre des versoirs à claire-voie employés dans les terres fortes de nos départements du nord *(fig. 8)*.

Les Persans actuels n'ont pas perfectionné ces instruments, au contraire : leur araire pour terres légères (*fig. 9*) est très primitif, il n'y a ni versoir ni réglage; on peut dire qu'il ressemble à tous les araires des pays musulmans (voir l'araire actuel égyptien : les charrues d'Afrique, fig. 14); il n'a de particulier que la traverse supérieure reliant l'étançon d'avant et celui d'arrière, traverse qui sert de mancheron. La charrue légère est tirée par un seul animal avec un palonnier; dans la grosse charrue (*fig. 10*), le joug est droit et assemblé d'équerre dans toutes ses parties. Ces deux modèles ne diffèrent que par la forme du soc en fer et par l'assemblage de l'age avec les deux étançons.

Dans les terres très fortes, les Persans emploient une lourde charrue tirée par quatre paires de bœufs, analogue à la charrue figure 3.

ASIE MÉRIDIONALE

Au Thibet, l'animal laboureur n'est plus le bœuf ou le cheval, mais le yak, qui seul peut supporter le froid de ces hauts plateaux. M. le capitaine Angïnieur, dans sa belle exploration, a pu photographier, à Ladak, une scène de labourage intéressante. Une charrue type arabe, probablement, est tirée par deux yaks dirigés par un conducteur spécial (*fig. 11*). Le joug est placé sur le garrot, comme dans tous les modèles précédents.

Dans l'Inde, les documents anciens font défaut, mais on trouve encore en usage des instruments très primitifs.

Dans le Béhar, Grierson a vu un araire très simple (*fig. 12*) muni d'un soc en fer plat et d'un mancheron, la flèche s'appuie sur un joug rudimentaire. Il n'y a ni versoir, ni réglage. La seule qualité de cet instrument est une stabilité relative, la base du sep qui repose sur le sol étant assez grande.

La charrue de l'Inde française (*fig. 13*), qui figurait à l'exposition de 1900, se rapproche beaucoup de la précédente, mais avec un peu plus de recherche dans la construction et moins de stabilité ; son fer très étroit est fixé sur un sep pointu à section triangulaire, ce qui ne peut donner de labour sérieux que dans des terres très légères.

Le voyageur anglais Buchanan, qui parcourut les Indes au siècle dernier, a décrit minutieusement tous les instruments d'agriculture qu'il a rencontrés.

La charrue de Pali Ghat, appelée Nocum-Cari (*fig. 14*), est très

mal étudiée et très primitive, c'est la pioche attelée, sans aucune stabilité et ne pouvant faire qu'un mauvais travail.

Les mêmes défauts se rencontrent dans la charrue de Banawasi *(fig. 15)* : le fer est une sorte de dent longue et étroite fixée sur le corps par un étrier.

L'araire d'Imanguta *(fig. 16)* est lourd et bizarre avec une flèche de plus de 3 mètres de longueur. Il n'a pas de fer et est tiré par quatre paires de bœufs.

La charrue à deux fers de Seringapatam *(fig. 17)* appelée Cuntay, se rapproche plutôt des herses que des araires. Sur un fort bloc de bois sont emmanchés deux fers en forme de haches et deux bambous comme brancards. Il y a un mancheron avec sa poignée. Cet instrument ne peut servir que dans des sols très meubles comme les rizières ; du reste en Chine, au Siam et en Birmanie, on trouve des instruments analogues pour la culture du riz.

Le modèle de Mangalore *(fig. 18)* a l'aspect d'une mandoline percée d'une cànne ; il a cependant un fer incliné et un essai de versoir ; malheureusement, le dessin ne donne pas une idée très nette de la forme de cette charrue.

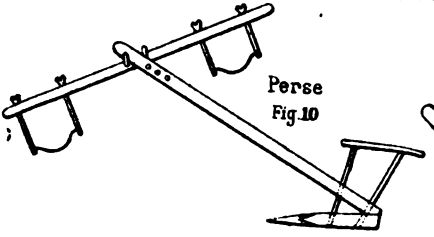
Buchanan décrit aussi des houes, sortes de râteaux à plusieurs dents *(voir fig. 23, Siam)* et un semoir assez ingénieux à douze rangs appelé Sadiki. C'est un râteau au-dessus duquel on a placé un distributeur percé de douze trous sur lequel sont emmanchés douze bambous creux qui aboutissent aux dents du râteau.

Le semoir de Banawasi n'a que quatre rangs et est un peu différent ; c'est la houe *(fig. 17)* munie de quatre fers : ces quatre fers sont traversés verticalement par quatre bambous, qui viennent se réunir dans un distributeur à grains fixé au manche et maintenu en place par des cordes qui le relient aux brancards, à la traverse inférieure et à une traverse intermédiaire placée sur les brancards ; la traverse inférieure a environ 0^m 75 de longueur. Cet instrument porte le nom de Curigy.

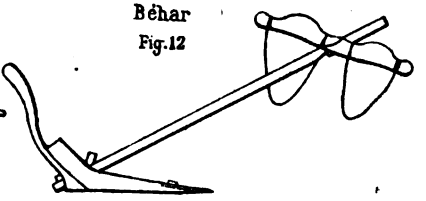
John Davy, qui visita Ceylan, en 1821, a donné un croquis d'une charrue qui, avec son joug, a la forme d'une ancre *(fig. 19)*. Une longue flèche traverse un morceau de bois courbé, dont une des extrémités est taillée en biseau : c'est le soc ; l'autre porte la poignée. Avec un instrument pareil, le laboureur a besoin de force et d'adresse pour tracer un sillon droit.

Une vieille gravure *(fig. 20)* représente un laboureur Cyngalais

Pl.3

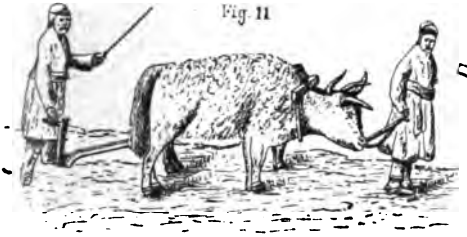


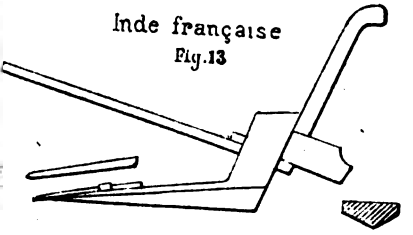
Perse
Fig.10



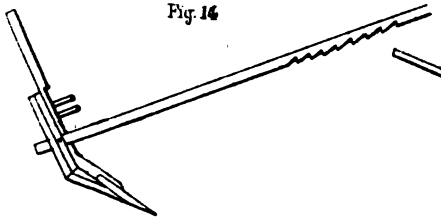
Béhar
Fig.12

Thibet
Fig. 11

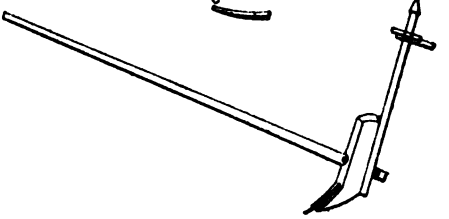




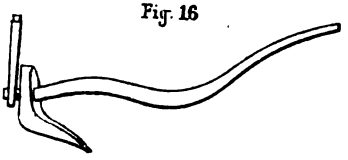
Inde française
Fig.13



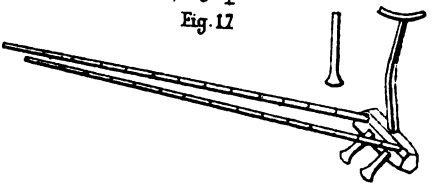
Pali-ghat
Fig.14



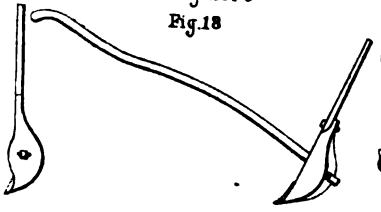
Banawasi
Fig.15



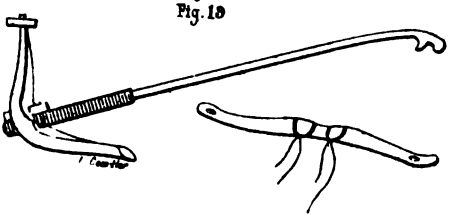
Imangula
Fig. 16



Séringapatam
Fig. 17



Mangalore
Fig.18



Ceylan
Fig.19

conduisant une charrue, probablement semblable à la précédente et attelée de deux bœufs, munis de véritables colliers ; on ne voit pas malheureusement comment la flèche est reliée à ces colliers.

Dans ce pays, où l'éléphant se dresse si bien et rend tant de services, il est naturel de le voir attelé à la charrue comme le représente les figures 21 et 21 *bis*, d'après une photographie et le croquis fait par M. Andrassy.

La première charrue est probablement un modèle anglais.

Quant à la seconde *(fig. 21* bis*)*, il est bien regrettable que M. Andrassy ne l'ait pas décrite avec quelques détails ; elle est certainement destinée à travailler un sol très compact car elle nécessite deux hommes pour la guider.

M. Lorgeou ancien consul de France en Birmanie, a bien voulu me procurer les dessins des instruments employés en Birmanie et au Siam.

L'araire birman *(fig. 22)* est assez soigné, le fer assez large soulève et émiette la terre, un étançon muni de coins permet un certain réglage. Le fer est retenu sur le sep par une corde tordue au moyen d'un bâton. Ce modèle n'est employé que dans les terrains un peu secs.

Quand il s'agit de cultiver le riz, c'est-à-dire de travailler les rizières maintenues sous une certaine couche d'eau, on préfère, comme en Chine, employer une sorte de herse ou de râteau à larges dents *(fig. 23)*, dans lequel une barre horizontale permet au laboureur d'agir par son propre poids pour forcer l'entrure. Ces charrues ont de 7 à 14 pieds de largeur ; l'extrémité de la flèche est attachée sous le joug qui est la simple barre munie de quatre longues chevilles que nous avons déjà rencontrée.

Les araires siamois sont assez primitifs. Voici un modèle *(fig. 24)* composés de trois pièces de bois emmanchées deux à deux avec un cône servant de soc, une corde relie l'age et le joug, ni réglage ni versoir, assemblages par trop simples qui n'offrent pas de résistance.

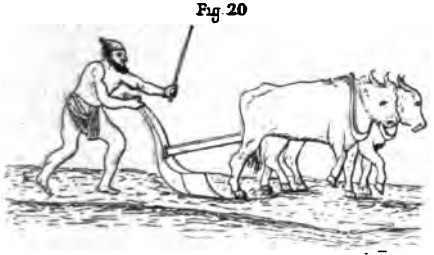
Pour consolider ces asssemblages l'age traverse le mancheron et vient s'assembler dans le sep formé d'une fourche servant de versoir *(fig. 25)*, le soc est une sorte de cône en fer. L'age est retroussé d'une façon extraordinaire et porte un palonnier.

Ce modèle appartient au Conservatoire des Arts et Métiers.

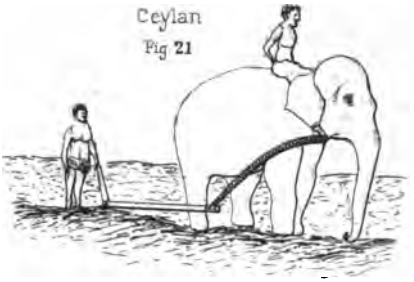
Le musée d'ethnographie du Trocadéro possède un modèle de la charrue malaise de Pérak *(fig. 26)*, elle se rapproche beaucoup

Pl. 4

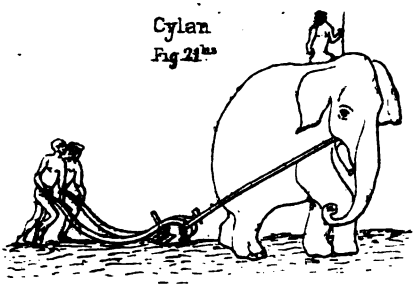
Ceylan
Fig. 20



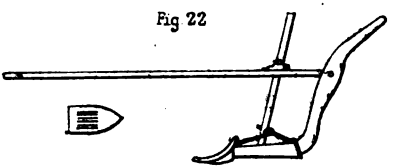
Ceylan
Fig. 21



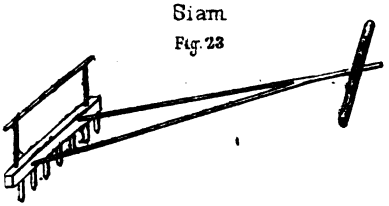
Ceylan
Fig. 21bis



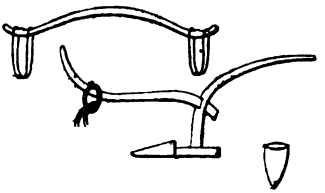
Birmanie
Fig. 22



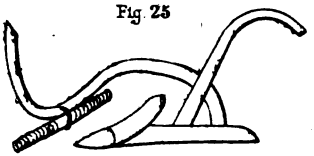
Siam
Fig. 23



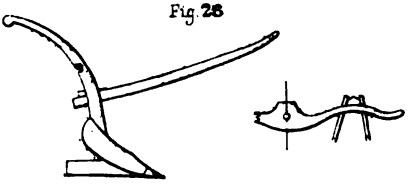
Siam
Fig. 24



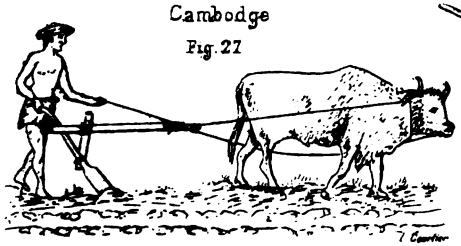
Siam
Fig. 25



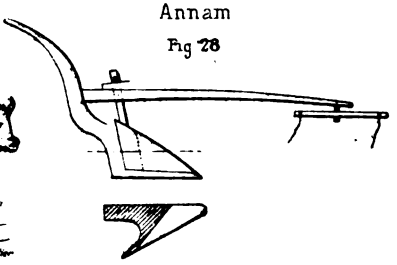
Malaisie
Fig. 26



Cambodge
Fig. 27



Annam
Fig. 28



de l'araire siamois *(fig. 24)*, elle porte un versoir et son joug est assez élégant.

La Chambre syndicale des constructeurs de machines et instruments d'agriculture et d'horticulture de France a publié dans son bulletin de janvier 1901 une scène de la culture du riz au Cambodge *(fig. 27)*. L'araire tiré par un buffle est des plus primitifs, c'est une sorte de bèche munie d'une flèche et d'un palonnier; cet instrument ne peut servir que dans des terrains très mous car il n'offre aucune résistance et est assez difficile à conduire.

A l'exposition de 1900, il y avait des séries très complètes des instruments d'agriculture de nos possessions indo-chinoises; presque tous sont formés de trois pièces de bois plus ou moins travaillées et plus ou moins bien appropriées aux services qu'elles doivent rendre.

La charrue d'Annam *(fig. 28)* comporte un corps de charrue d'une seule pièce : mancheron, sep et versoir. Un age droit, emmanché sur le corps et retenu par un étançon réglable; à l'extrémité de l'age est un palonnier pour un seul animal; c'est une charrue légère, stable et qui munie d'un fer ferait un assez bon travail.

Dans un autre modèle annamite *(fig. 29)*, le versoir plus compliqué est rapporté sur le sep et ne touche point le fond du sillon; le travail est tout à fait défectueux, mais la grande longueur du sep lui donne beaucoup de stabilité.

Dans ce type qui est plus robuste *(fig. 30)*, le versoir est mieux étudié; pour élargir le sillon, le sep est muni d'un soc en fer d'une forme particulière et incliné comme le versoir. Cet instrument est fait pour être tiré par deux animaux et peut donner un bon labour, quoique rien ne permette de régler l'entrure.

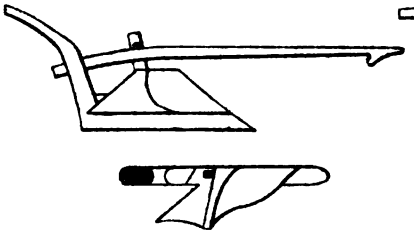
Overmeer Fischer a rapporté du Japon une charrue tout à fait semblable qui est au musée de Leyde *(voir fig. 52)*.

La charrue de Son-Tay *(fig. 31)* est un perfectionnement de la charrue cambodgienne *(fig. 27)* : son corps est en forme de cuiller, la surface travaillante est garnie d'un fer en deux parties dont l'une à douille est le soc et l'autre légèrement cintrée soulève la terre en l'aérant, l'age est en bambou. Nous retrouverons ce type au Japon.

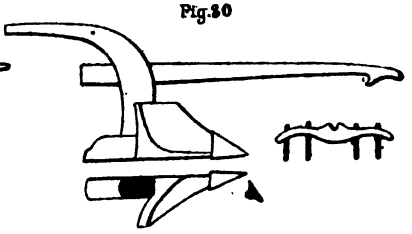
Dans le modèle de Cao-Bang *(fig. 32)*, le mancheron, le corps et le sep ne forment qu'une seule pièce bizarrement contournée, le fer est à section en forme de T et d'assez grande dimension :

Pl 5

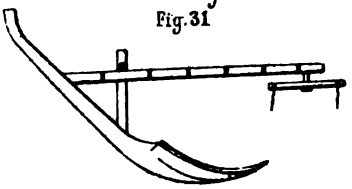
Annam
Fig. 29



Annam
Fig. 30



Sontay
Fig. 31



Cao-Bang
Fig. 32

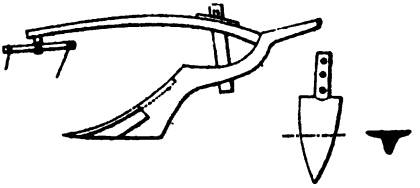
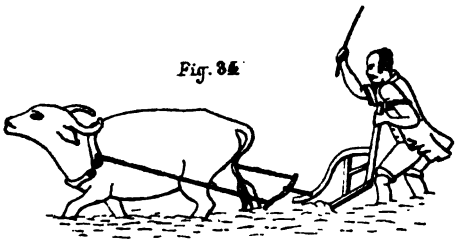


Fig. 34



Laos
Fig 32bis

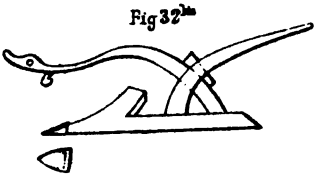
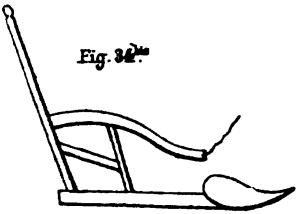


Fig. 32ter



Chine
Fig. 36

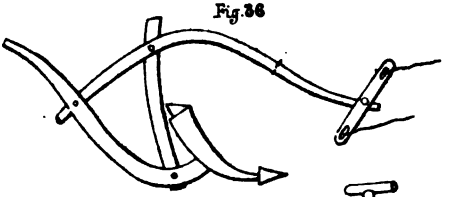


Fig. 35

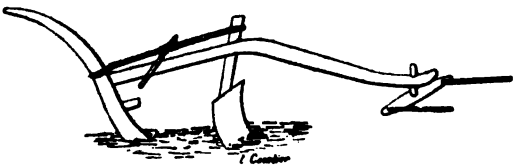
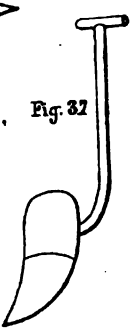


Fig. 37



il est prolongé par une platine fixée sur le devant du corps, un étançon sert à régler l'inclinaison toujours très faible de l'age, qui se termine comme dans le type précédent, dont il dérive, par une attache de palonnier.

Ces deux outils fouillent et soulèvent la terre en l'aérant, mais ne la retournent pas.

L'araire laotien *(fig. 32 bis)* est formé de trois pièces en bois dur; il est armé d'un soc à douilles qui s'emmanche simplement à l'extrémité du sep. Le versoir fait partie du sep et est assez grossièrement taillé dans la masse; l'extrémité de l'age représente une tête de serpent. Le soc est incliné comme nous l'avons déjà vu dans la figure 30.

Cet araire a une grande parenté avec l'araire siamois *(fig. 25)*.

ASIE ORIENTALE

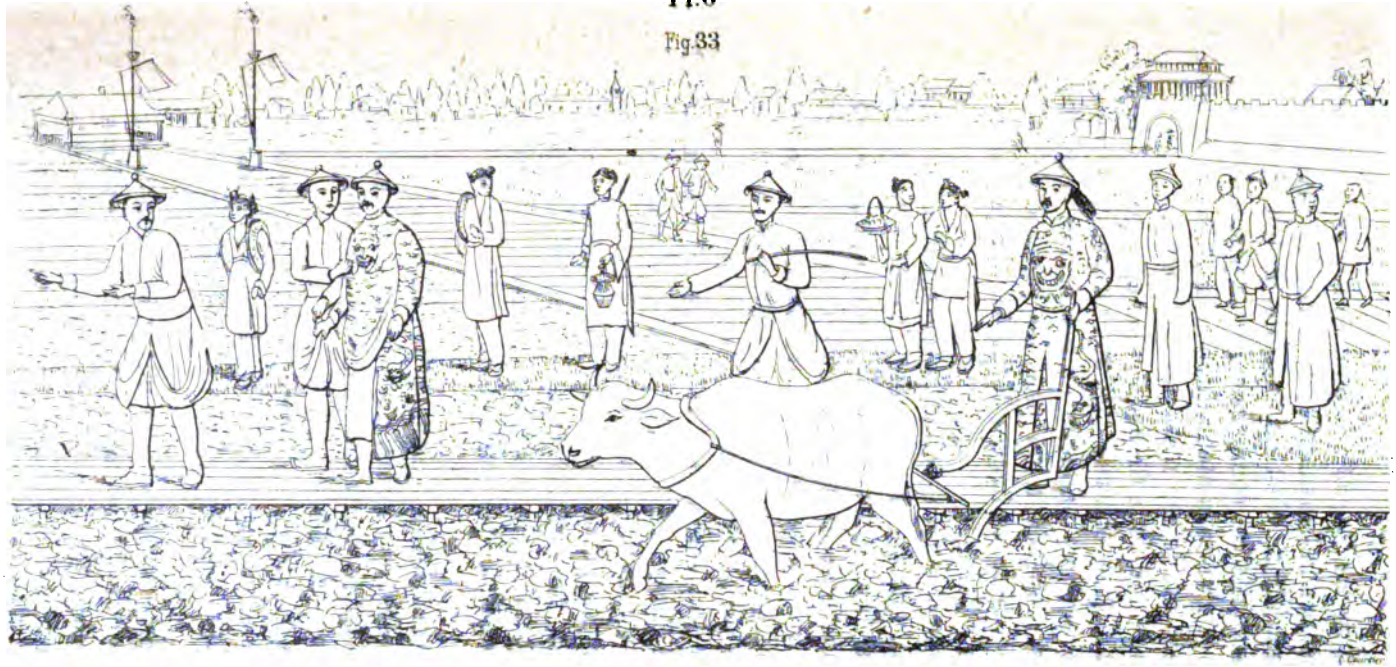
Les anciens empereurs de la Chine furent les protecteurs de l'agriculture. C'est à l'un d'eux, Chin-Noung, « le Divin Laboureur », que l'on attribue, vers 3200 avant J.-C., l'invention de la charrue. Le Hi-Tse dit « Chin-Noung prit du bois fort et dur dont il fit le coutre de la charrue, il choisit du bois plus tendre pour en faire le manche et apprit aux hommes à cultiver les champs. » Depuis cette époque reculée, l'agriculture n'a pas cessé d'être en honneur en Chine, comme en témoignent les Annales chinoises. L'empereur Yao choisit un laboureur pour être son successeur. L'empereur Chao-Kang, en 2077, releva le labourage en rétablissant les ministres qui y présidaient, et Wen-ti, au IIe siècle avant J.-C., laboura lui-même le Champ Impérial, afin de montrer toute l'importance qu'il attachait à l'agriculture. La cérémonie du Labourage Impérial fut dès lors fixée au printemps de chaque année, et toutes les dynasties qui se succédèrent sur le trône tinrent à honneur de n'en pas laisser perdre l'usage.

Chaque année, à Pékin, l'empereur, les princes et les grands doivent labourer à tour de rôle le Champ Impérial, dont la récolte est destinée au Temple du Ciel, tandis que dans les provinces les vice-rois procèdent à la même cérémonie. Une ancienne peinture chinoise représente un vice-roi lors de la cérémonie du labourage de 1767 *(fig. 33)*.

La charrue employée *(fig. 34* bis*)* est celle qui sert encore à la

Pl.6

Fig.33



culture du riz *(fig. 34)*. Comme le sol est toujours détrempé, le fer n'est pas indispensable, une planche suffit à relever la terre et à l'ameublir. C'est un instrument tout à fait instable, mais son instabilité est compensée par la position très basse du palonnier et la grande hauteur du manche. Une particularité à signaler, c'est que le sep n'est pas horizontal.

Dans le sud de la Chine, M. Frandon, consul de France, a photographié une charrue *(fig. 35)* un peu différente. Malheureusement elle est enterrée et ses parties travaillantes sont peu visibles. Cependant, on peut les rapprocher comme construction des charrues figures 36 et 43. Elle est caractérisée par un tendeur à corde.

M. Grandvoinet a donné un dessin d'araire chinois fort intéressant, quoique mal étudié *(fig. 36)*; toutes les pièces sont courbes. Il n'y a pas, à proprement parler, de sep : c'est l'extrémité inférieure du mancheron qui se recourbe pour soutenir le versoir à deux pentes qui, lui-même, porte le soc en fer. L'age se recourbe très bas et à son extrémité est fixé un palonnier. Le versoir de cette charrue sert en même temps de coutre. L'usage du coutre est connu en Chine depuis longtemps. Gemelli Careri, en 1695, a vu entre Pékin et Canton des coutres en bois armés de fer afin de mieux briser les mottes.

Les types précédents sont des modifications des charrues à main « lai fou » *(fig. 37)*, que l'on trouve décrites dans les traités chinois : une sorte de bêche à fer recourbé qu'un homme maintient verticale pendant qu'un autre la tire au moyen d'une corde.

On a renforcé le manche de la bêche, en même temps on l'inclinait, ainsi que le fer, pour faciliter la manœuvre, et on ajoutait une barre de traction pour remplacer la corde, c'est le type de charrue de la figure 38.

Une variante de la charrue à main est la charrue *(fig. 39)* que Doolittle a vu employer dans les plantations de thé. C'est un fer conique emmanché sur le corps recourbé qui forme mancheron.

La figure 40 représente un araire chinois dans lequel l'influence étrangère se fait sentir; le sep, très épais, est horizontal et sans soc, la pointe est taillée obliquement pour rejeter les terres sur le côté, la flèche est longue et courbée, il n'y a pas de réglage, l'étançon est très résistant et doit remplir l'office de coutre.

Pl.7

Chine

Fig. 38

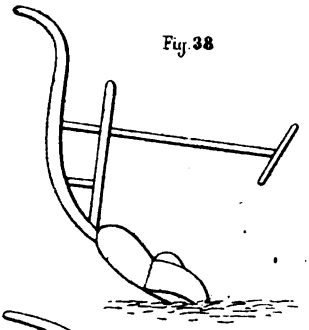


Fig. 39

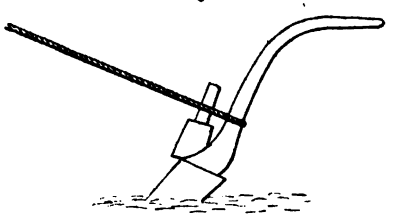


Fig. 40

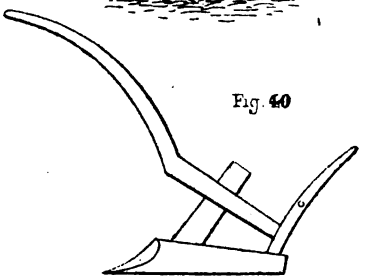


Fig. 42

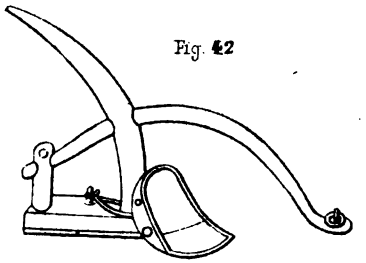


Fig. 41

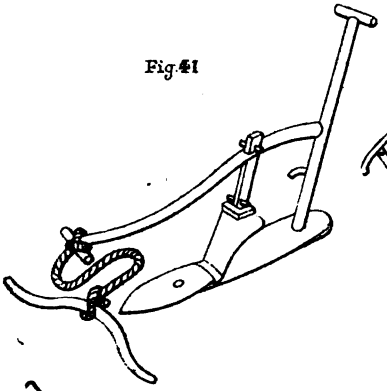


Fig. 44

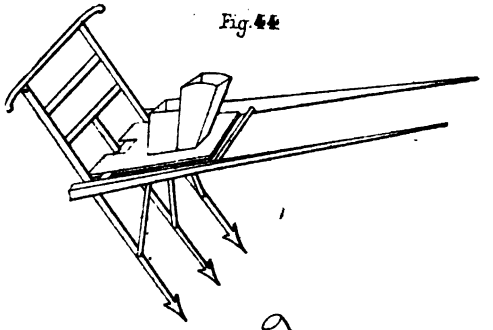
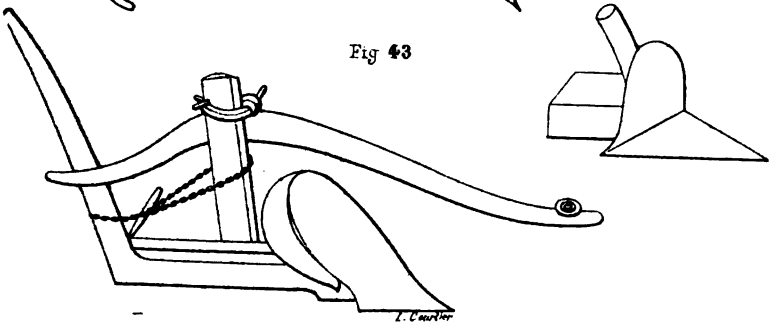


Fig 43



La charrue classique *(fig. 41)*, décrite par Schlegel dans son grand dictionnaire chinois, et par le *Va kan san zou yé (Étude générale des choses extérieures)*, est plutôt une sorte de soussoleuse; en effet, la terre est soulevée, aérée et divisée, mais n'est pas retournée. Le sep, long et horizontal, se termine par un fer en forme de feuille de laurier; l'age court est relié, d'une part, au mancheron presque vertical, et de l'autre à un étançon qui soutient un fer à oreilles qui sert à former le sillon en rejetant les terres à droite et à gauche. La traction se fait par un palonnier au bout d'une corde.

Un ouvrage japonais du siècle dernier, le *Shin-gokou-ki-boum*, donne un type de charrue chinoise *(fig. 42)* dont le soc très large se relève pour former versoir, c'est plutôt une sorte de pelle. L'age est tellement cintré que son extrémité touche presque à terre.

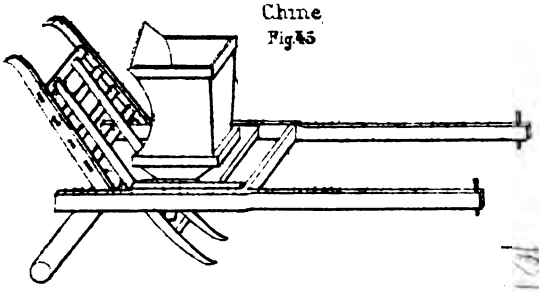
M. d'Escayrac-Lauture, attaché à la légation de France à Pékin, a retrouvé, en 1860, une charrue presque semblable dont il a donné un croquis *(fig. 43)*, avec une variante de fer et de versoir qui n'est pas très heureuse.

John Barrow, qui fit partie de l'ambassade anglaise de Mac Cartney, au commencement du XIX^e^ siècle, vit dans le Chang Toung une charrue à semoir qu'il décrit ainsi : Il y avait deux barres en bois placées sur des roues, l'extrémité de ces barres était garnie de fer pour creuser les petites rigoles, et une petite trémie attachée à chaque barre. La semence tombait dans les rigoles et était aussitôt recouverte par une pièce de bois transversale qui ne faisait qu'effleurer la terre. Il n'y a pas de dessin; on peut rapprocher cette description du dessin donné par le docteur K. Futterer, d'une charrue-semoir qu'il a vue dans le sud du Gobi *(fig. 44)* et du semoir *(fig. 45)* décrit par l'abbé Rosier, et 1793, dans son *Cours complet d'Agriculture*. Nous retrouverons ce semoir en Corée avec quelques modifications; l'usage du semoir est fort ancien en Chine et son invention est attribuée à Tchao Kouo, au II^e^ siècle avant notre ère.

Deux ou trois espèces de lances, montées obliquement, sont reliées par des traverses et constituent le semoir chinois. Les deux brancards supportent un plancher sur lequel sont les trémies pour le grain qui, au moyen de tuyaux, tombe dans les rigoles creusées par les fers de lance. Le semoir photographié par M. Marin, en Corée *(fig. 46)*, est d'origine chinoise. C'est le type de Tché Fou et de tout le Chang Toung.

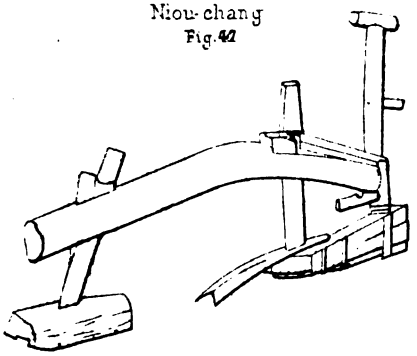
Pl.8

Chine
Fig.45

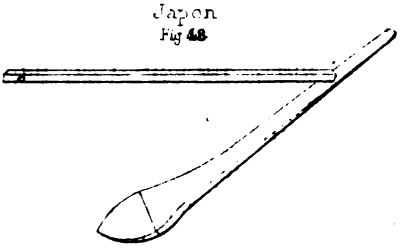


Corée
Fig.46

Niou-chang
Fig.42

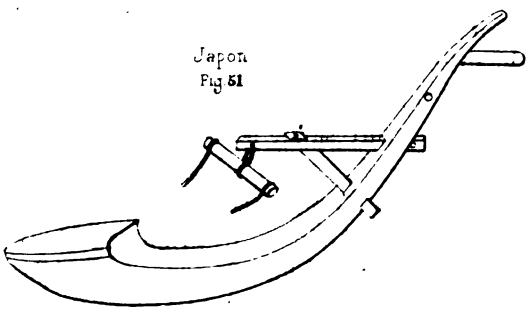


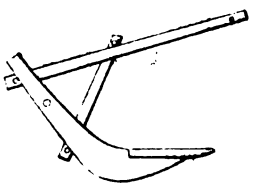
Japon
Fig.48



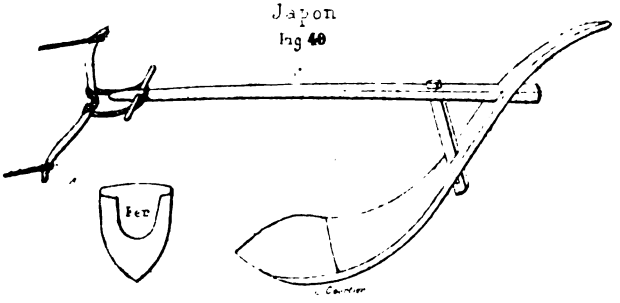
Japon
Fig.50

Japon
Fig.51





Japon
Fig.49



Enfin, il faut signaler encore les charrues à voiles, dont Schlegel a vu des modèles en Chine vers 1860.

Le consul des États-Unis, à Niou-chang, décrit ainsi la charrue actuellement en usage dans la Mandchourie *(fig. 47)* : c'est une charrue à sabot c'est-à-dire dont la flèche prend un point d'appui sur le sol au moyen d'un support réglable; la seule pièce en fer de cette charrue est une longue pointe pliée qui entre dans la terre ; il y a aussi une autre forme plus usitée qui ressemble à une pelle.

Chez les Mongols, l'agriculture est considérée comme inutile et la charrue n'existe pas.

Les ouvrages japonais sur l'agriculture donnent beaucoup de modèles en usage dans cet archipel. On retrouve d'abord la pioche attelée *(fig. 48)*, mais le fer est large en forme de spatule. Manche trop court, attelage trop haut : c'est un instrument difficile à conduire.

La figure 49, tirée du No gon ben ri ron, montre un premier perfectionnement qui consiste dans la courbure du corps de charrue, le fer prend un meilleur appui sur le sol, le travail est moins pénible pour le laboureur, une entretoise relie la flèche au corps de charrue et empêche toute déformation. Le fer en forme de poche mérite d'être signalé ; nous le retrouverons en Corée.

Cette charue est à rapprocher du modèle cyngalais *(fig. 31)*.

La charrue de la collection Cock-Blomhoff, de Leyde *(fig. 50)*, est tout à fait analogue : la forme est encore meilleure et le fer est bien disposé pour couper les racines ; c'est une sorte de plaque de fer dont les bords sont repliés pour saisir le bois du corps de charrue.

Une autre modification peu heureuse dans la courbure du corps de charrue, est donnée par la figure 51, tirée du grand ouvrage de Siebold sur le Japon. Peut-être y a-t-il là une erreur due au dessinateur.

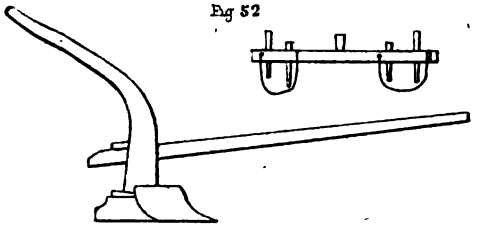
Dans la collection Overmeer Fischer, de Leyde, on trouve la charrue classique en trois pièces *(fig. 52)*. On peut affirmer qu'elle est d'importation étrangère, car elle est trop peu semblable à tous les autres modèles indigènes.

La figure 53 est intéressante par le mode d'attelage qu'elle représente ; malheureusement on ne peut voir quel est le modèle de charrue employé.

Aucune des charrues que nous avons vues jusqu'ici, au Japon, ne permettait de travailler un sol un peu résistant; celle-ci *(fig. 54)*,

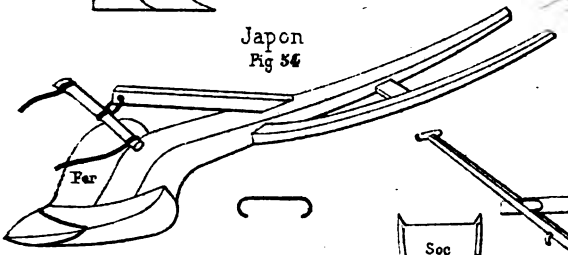
Pl.9

Japon
Fig 52

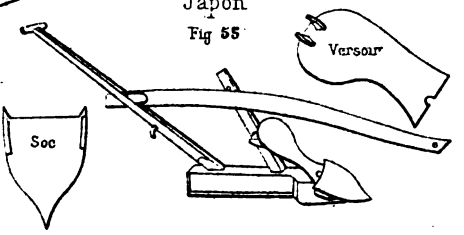


Japon
Fig 53

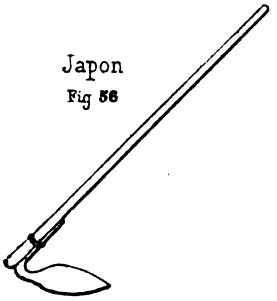
Japon
Fig 54



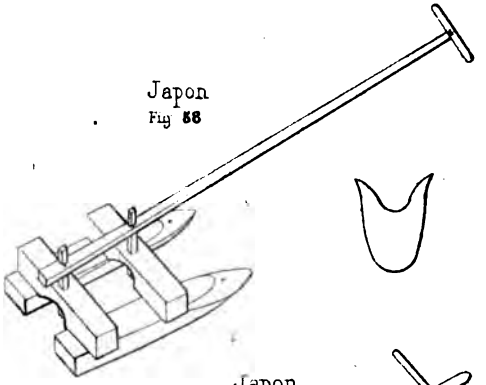
Japon
Fig 55



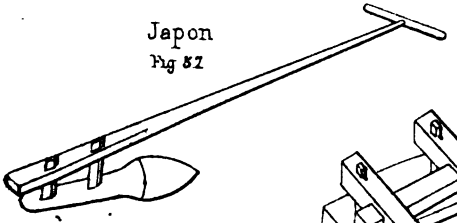
Japon
Fig 56



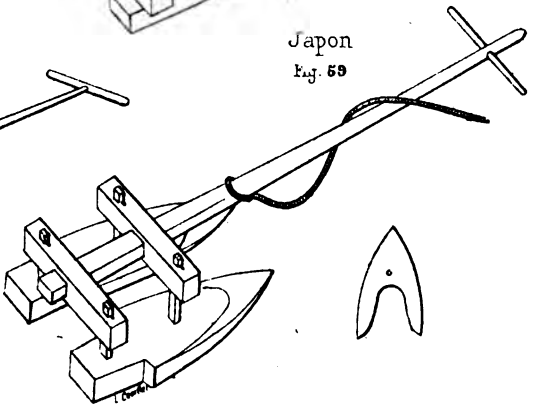
Japon
Fig 58



Japon
Fig 57



Japon
Fig 59



qui prend son point d'appui sur le sol, est mieux équilibrée, son attelage est plus bas, et quoique l'age courbé ne dépasse pas le soc, les mancherons, très éloignés de la résistance, permettent une conduite facile, le fer est en deux parties dont l'une se relève pour former le versoir.

Voici un véritable araire *(fig. 55)* qui est bien supérieur à tous les modèles précédents, et paraît être un perfectionnement de la charrue chinoise *(fig. 41)*; le soc très large, raccordé au versoir qui en est en quelque sorte le prolongement, fait un bon travail, et le mancheron, très incliné, donne une grande facilité de direction. Nous retrouvons l'age, incliné vers le sol, qui paraît être très en faveur dans l'Extrême-Orient.

Tous les modèles japonais précédents sont faits pour être tirés par des bœufs ou des buffles, tandis que les suivants, extraits du No gon ben ri ron sont des variantes de la charrue à main chinoise. Mais, tandis que cette dernière nécessite un laboureur et un aide, ces instruments sont maniés par un homme seul.

Le premier est une sorte de pioche ou de binette *(fig. 56)* qui sert à tracer un sillon, dans lequel on vient ensuite placer la semence. Le travail doit être moins régulier et moins facile qu'avec le suivant, qui a plus de stabilité, puisqu'il comporte une sorte de sep traînant à terre, un age très long muni d'une poignée, et deux étançons reliant l'age et le sep *(fig. 57)*. Le laboureur tient le manche à deux mains et se passe autour du corps une corde qui est fixée aux deux petits étançons. Il trace son sillon en marchant à reculons, et peut déployer ainsi une assez grande force. Au lieu de faire une seule raie à la fois, on peut en faire deux. Deux seps munis de fers sont maintenus parallèles par des entretoises évidées *(fig. 58)*, ou surélevées *(fig. 59)* pour laisser passer la terre, une forte flèche se termine par une traverse qui est assez longue pour permettre à deux hommes de se mettre côte à côte si c'est nécessaire. Le laboureur travaille donc en avant de la charrue et marche en arrière, comme précédemment, pour surveiller son travail.

La charrue employée actuellement, au Japon, pour la culture du riz *(fig. 60)*, figurait à l'exposition de 1900, et rappelle par sa forme les charrues usitées en Indo-Chine. Le sep, taillé en biseau, est recouvert d'une tôle; une autre, fixée sur l'étançon, sert en quelque sorte de versoir. Il ne faut pas oublier que, dans la culture du riz, le sol est presque toujours maintenu sous l'eau et ne contient pas de grosses racines.

Les Coréens sont agriculteurs d'instinct et de tempérament; ils se servent de taureaux et non de bœufs pour tirer leurs charrues dont le versoir, quand il y en a, est souvent à gauche.

M. Balet a donné, dans le *Journal des Voyages*, une photographie de charrue coréenne *(fig. 61)* qui se rapproche beaucoup de la charrue japonaise *(fig. 50)*. On voit bien la position inclinée vers l'avant, que prend l'age pendant le travail.

Un autre type *(fig. 62)* relevé à l'exposition de Nijni-Novgorod, de 1896, rapelle beaucoup la charrue de Niou-chang. C'est une charrue à sabot, intermédiaire entre les araires et la charrue à avant-train. Le mancheron, muni de ses poignées, embrasse le sep auquel il est solidement fixé et est traversé lui-même par l'age qui porte à cet effet un long tenon; la mortaise est assez haute pour que ce tenon puisse jouer librement pour le réglage. Un étançon assure au moyen de coins et de chevilles la position de l'age par rapport au sep, et sert à régler l'entrure avec l'aide du sabot. Le fer en forme de cœur est fortement convexe; il porte au-dessous une sorte de poche dans laquelle vient s'emmancher le sep; un anneau à l'extrémité de l'age sert pour l'attelage.

Une photographie prise par M. Marin, député de Nancy, lors de son voyage en Corée, représente une charrue à peu près analogue *(fig. 63)*.

Enfin le Musée Guimet possède deux fers de charrues apportés par M. Varat; ces deux fers sont très différents de celui que nous venons de décrire: l'un emboîte l'extrémité du sep dans un capuchon; il est large et assez plat *(fig. 63 bis)*; le second, plus pointu *(fig. 64)*, est à peu près semblable à celui que j'ai publié dans la traduction des travaux de Hoa Syeng, ouvrage coréen de la fin du XVIII^e^ siècle *(fig. 65)*.

ASIE SEPTENTRIONALE

J'ai pu, à l'Exposition de Nijni-Novgorod de 1896, relever un certain nombre de charrues sibériennes assez intéressantes.

Un modèle fort ancien et très simple *(fig. 66)* est formé de deux pièces principales en bois, l'age et le mancheron; ce dernier forme un coude et reçoit un fer aplati en amande et arrondi à son extrémité; une sorte d'entretoise, reliant l'age et le mancheron, ainsi qu'une poignée complètent cet instrument assez

difficile à conduire et qui donne un travail très imparfait, puisqu'il ne fait que soulever la terre.

Fort originale est la charrue de Minnousinsk *(fig. 67)* : il n'y a plus de mancherons ; deux brancards entretoisés sont reliés par des cordes à deux traverses qui maintiennent en place une longue et large planche formant sep, dont une extrémité en forme de fourche reçoit deux socs triangulaires. Les socs sont en fer plat ; une partie du fer est fendue suivant une ligne parallèle à la petite base et repliée pour former l'ensochure. La charrue se règle en déplaçant les traverses mobiles le long du sep ce qui fait varier l'angle que les brancards font avec ce dernier.

Une des photographies prises par M. de Chimkevitch représente la charrue Bouriate *(fig. 68)* qui a beaucoup d'analogie avec la précédente ; ce sont des instruments très instables et difficiles à conduire.

Les Tchérémisses des bords de la Kama emploient des charrues semblables.

La charrue *(fig. 69)* présente sur les précédentes un grand progrès : elle a un versoir, le fer est double et celui de gauche est relevé ; une planchette fixée au corps de la charrue rejette la terre en dehors du sillon. L'attelage se fait par deux brancards de forme très particulière et spéciale à la Russie ; ces brancards sont reliés par une entretoise et par une forte traverse emmanchée sur le mancheron, qui porte une seconde traverse munie de deux poignées. Cette charrue est stable, facile à conduire, mais ne comporte aucun moyen de réglage. Son grand inconvénient tient à ce que le fer ne travaille pas au fond de la raie puisqu'il est fixé à la partie supérieure du sep.

Ces modèles sont en usage depuis Tobolsk jusqu'à Sakhaline.

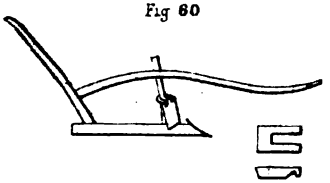
Dans tous, les fers sont plats, en une ou deux pièces, quelquefois renforcés au milieu par un simple pliage.

Dans l'île de Sakhaline, les deux fers sont en général écartés, tandis qu'ils sont rapprochés dans les Gouvernements d'Irkoutsk et de Tobolsk.

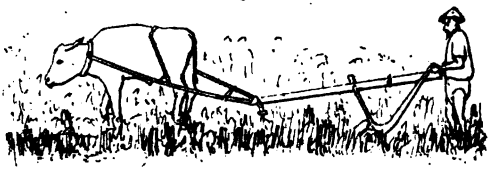
La charrue Yakoute *(fig. 70)* est peut-être la plus rudimentaire des charrues à avant-train : un fer triangulaire est emmanché sur le sep qui est surmonté d'une planchette tenant lieu de versoir. Le mancheron est fixé verticalement sur le sep et une branche fourchue qui le traverse en deux points sert à la fois d'entretoise et de manche ; l'autre extrémité de cette branche repose sur l'avant-train composé de deux pièces de bois

Pl.10

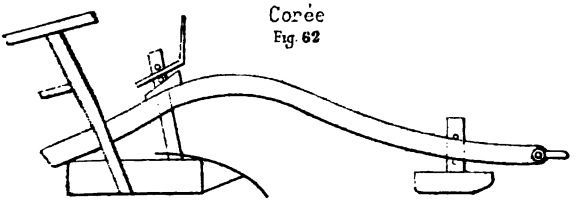
Japon
Fig 60

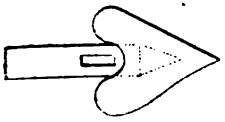


Corée
Fig.61

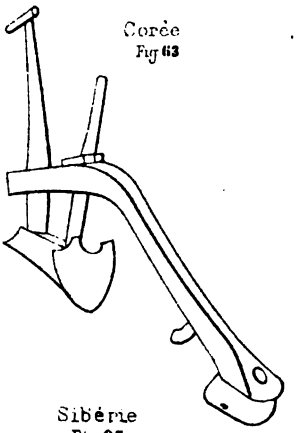


Corée
Fig.62





Corée
Fig 63



Corée

Fig.63bis

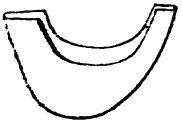


Fig. 64

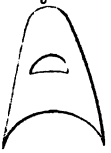
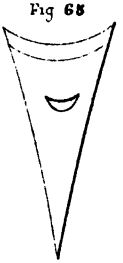


Fig 65



Sibérie
Fig.67

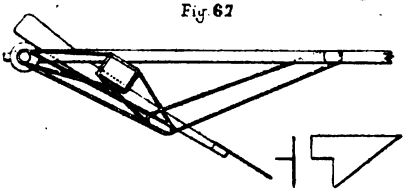
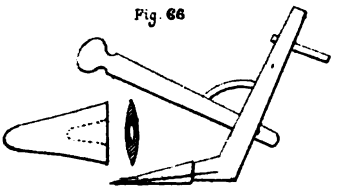
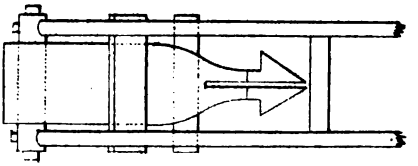
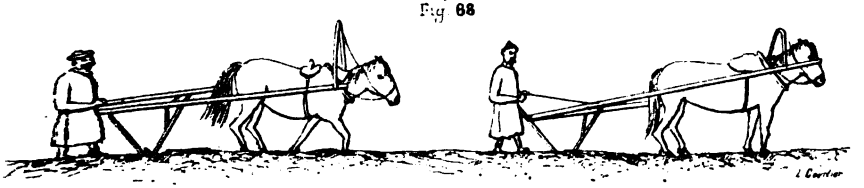


Fig. 66





Bourjates
Fig 68



coudées et entretoisées formant brancards. C'est sur l'entretoise qu'est attachée l'extrémité libre de l'age ; les brancards portent sur le sol par leurs coudes (1).

Une charrue du Gouvernement de Tobolsk *(fig. 71)* dérive directement de la charrue de Minnousinsk, avec les perfectionnements suivants qui en font un bon instrument.

Les brancards sont supprimés, l'age s'appuie sur un avant-train à roues. L'age est mobile dans la mortaise du mancheron, de façon à faire varier l'entrure, qui est réglée au moyen d'une vis ;

Le tirage ne se fait pas dans l'axe de l'avant train de façon à mieux équilibrer la résistance de la charrue, dans ce même but l'age peut se déplacer le long du support de l'avant-train, ce qui contrebalance l'effort de dérayage de l'instrument ; le fer est en deux morceaux.

Un instrument très primitif, mais très soigné *(fig. 22)* figurait dens l'Exposition de l'Asie Centrale, à Nijni Novgorod ; il se compose d'un age droit et d'une pièce de bois dur recourbée deux fois, servant à la fois de manche, de mancheron et de sep. Cette pièce, de section octogonale sur toute sa longueur, est percée d'une mortaise pour laisser passer la flèche, et l'angle des deux pièces est maintenu par un arc-boutant en bois ; la flèche, retenue dans la mortaise par une cheville, est percée à l'autre extrémité d'une série de trous qui permettent de faire varier la hauteur du point d'attelage et d'obtenir ainsi un labour plus ou moins profond. On peut dire que c'est un des araires les plus simples, puisqu'il ne comporte aucune pièce métallique, tout en étant assez bien compris au point de vue cultural.

Dans le modèle *(fig. 73)*, il y a un progrès : c'est le soc en fer en forme de cône ; l'arc-boutant reliant l'age et le mancheron est supprimé ; il n'est pas indispensable du reste quand les pièces de bois sont d'assez fort équarrissage, comme c'est ici le cas.

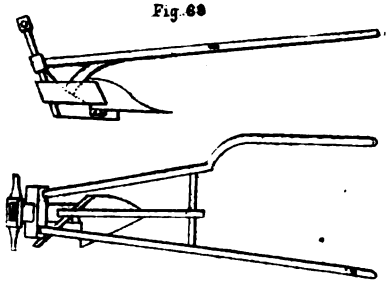
Un dessin de Vereschaghine *(fig. 74)* représente un tadjik laboureur du Ferganah. Malheureusement la charrue n'est pas entièrement visible. On peut seulement distinguer un sep formé d'une pièce de bois équarrie sur laquelle est emmanché presque

(1) Dans le Gouvernement d'Irkoutsk, un araire coûte de 13 à 20 fr. et une charrue à avant-train de 30 à 40 francs.

Dans la région Yakoute, la culture d'un hectare, labours, hersage, ensemencement, récolte, valait de 60 à 100 fr., en 1896.

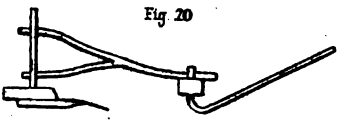
PL.11

Fig. 69



Yakoute

Fig. 20



Tobolsk

Fig. 71

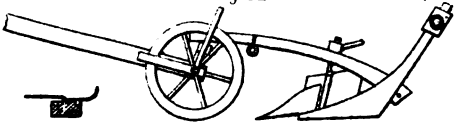
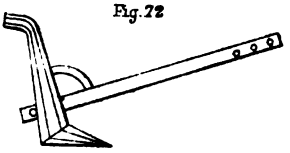


Fig. 72



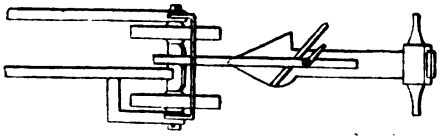
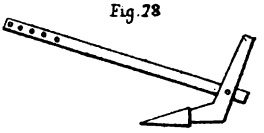
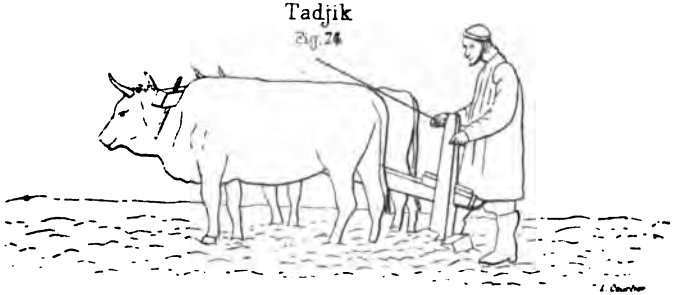


Fig. 73



Tadjik

Fig. 74



verticalement un fort mancheron muni d'une poignée. Ce mancheron est percé d'une mortaise dans laquelle un long timon est fixé par un coin. L'attelage se compose de deux bœufs réunis par un joug placé sur les épaules.

Tout en souhaitant pour les agriculteurs asiatiques la prompte disparition de ces vieux instruments et leur remplacement par des machines modernes, il faut reconnaître que la misère habituelle dans laquelle vivent les agriculteurs sous toutes les latitudes ne leur permet pas souvent de risquer des dépenses peu en rapport avec leurs maigres revenus ; c'est pourquoi il ne faut pas être trop surpris de la lenteur avec laquelle les nouveautés se répandent, même quand elles sont bonnes. Nous en avons tous vu de nombreux exemples en France même.

INDUSTRIALISATION

DE LA

FERMENTATION DES VINS ET DES CIDRES

PAR

M. E. BARBET

Il peut sembler à première vue que la question des vins et des cidres présente peu d'intérêt pour l'ingénieur. Est-ce que, de toute antiquité, le jus du raisin ne fermente pas tout seul? Le problème, pour le surplus, n'est-il pas purement agricole et commercial? Faut-il déjà tant se féliciter de l'ingérence de la chimie, qui trop souvent ne vise qu'à l'adultération de nos boissons? Les procédés de l'industrie ne vont-ils pas leur porter le coup de grâce et leur enlever définitivement cette épithète « d'hygiéniques », que la loi a maintenue, mais que certains médecins dénoncent avec une conviction quelque peu passionnée?

Votre cinquième section a bien voulu estimer que ma thèse n'avait rien de subversif pour la moralité du commerce des vins et des cidres, et que j'avais des raisons valables pour demander une évolution progressive de la vinification vers une organisation mécanique et industrielle.

Dans toute ma communication, je m'efforcerai de me cantonner scrupuleusement dans le domaine de la technologie, et si, par endroits, je me trouve dans l'obligation de justifier l'intervention de l'ingénieur et d'indiquer le but économique et commercial qui a servi d'objectif, en revanche, je laisserai de côté les questions agricoles, douanières et politiques sur lesquelles producteurs et consommateurs sont loin d'être d'accord.

La viticulture française est dans une situation très malheureuse, c'est incontestable. Elle a obtenu, il y a trois ans, le dégrèvement total des droits de consommation sur les vins et les cidres. Hier elle vient de se faire restituer le privilège de la distillation sans déclaration (privilège des bouilleurs de cru). A Dieu ne plaise que j'aborde devant vous la moindre controverse sur ces mesures législatives!

Me plaçant au point de vue exclusivement technique, je dis

que la première des choses, c'est de fabriquer le vin et le cidre mieux qu'on ne le fait actuellement.

Cela ne remédiera pas à l'excès de production qui nous afflige, c'est entendu. La France produit environ 10 à 20 millions d'hectolitres de vin et 5 à 10 millions d'hectolitres de cidre de plus que la consommation annuelle; telle est la situation contre laquelle on cherche des remèdes législatifs d'une efficacité douteuse. D'autres conseillent une réforme dans les procédés de viticulture même, et ils ont raison, car la surproduction provient sans contestation de l'emploi des plants américains, trop vigoureux, et de la façon dont on effectue la taille. Elle provient aussi d'un excès de plantations, et cela dans les terrains bas et humides qui donnent une quantité énorme de raisins à l'hectare, mais des vins à bas degré et de qualité inférieure.

Ces problèmes ne sont pas de mon ressort, ni du vôtre; je prends la situation comme elle est, et je dis : Il faut tâcher d'exporter davantage, malgré les barrières douanières. Pour exporter davantage, il faut que le vin, tout en restant assez bon marché, soit d'une qualité irréprochable, d'une conservation assurée, et qu'il vaille, pour l'étranger, le prix élevé auquel l'amènent les frais de transport et de douane.

Il faut trouver des moyens nouveaux de transport, de conservation, de protection contre l'effet des maladies de la vigne. Il faut encore abaisser le prix de revient du vin par une utilisation rationnelle et complète de tous les sous-produits de la vigne.

Tous ces résultats ne peuvent s'obtenir que par une *industrialisation de la vinification*, et notamment, à mon avis, par la création de grandes *vineries agricoles et industrielles*, analogues aux usines qui, dans le nord de la France, industrialisent les autres produits du sol ou de la ferme, pour produire économiquement le sucre, l'alcool, la farine, la fécule, l'amidon, l'huile, les tissus, etc.

Je me propose d'exposer ce programme, ses moyens techniques et mécaniques de réalisation, ainsi que les résultats déjà acquis dans cette voie. J'espère qu'on n'y opposera pas d'objections véritables, car je crois pouvoir démontrer que ces méthodes industrielles serviront les intérêts du consommateur et de l'hygiène publique, tout en rouvrant l'ère des prix rémunérateurs pour la viticulture.

I. — Exposé de la situation actuelle et du but à atteindre.

Depuis un demi-siècle, les différents produits du sol ont donné naissance à un assez grand nombre d'industries florissantes, classées sous le nom d'industries agricoles. Ce sont particulièrement la minoterie, l'huilerie, la sucrerie, la distillerie, la féculerie, les fabriques de beurre et de fromage, etc. C'est une grande évolution économique qui a pour essence et pour base la division du travail : au cultivateur l'unique souci de faire produire à sa terre de bonnes et abondantes récoltes, qu'il vend à l'état brut à l'industrie. A son tour, l'industriel centralise dans ses usines de très grandes quantités de matières premières, et grâce à ses capitaux, à ses connaissances techniques et à un matériel mécanique perfectionné, que le cultivateur ne saurait ni acheter ni conduire, il est à même de produire dans les meilleures conditions de qualité et de prix de revient la farine, l'huile, le sucre, l'alcool, etc. En même temps, il tire parti de tous les sous-produits dont la plupart font retour à l'agriculture sous forme de nourriture pour le bétail ou d'engrais.

La fabrication du vin n'est pas encore entrée dans cette voie de l'industrialisation, et c'est grand dommage.

Le jus du raisin fermente tout seul. Oui, mais dans ces conditions il fermente souvent mal et donne des vins médiocres. L'industrie pourrait, la plupart du temps, doubler la valeur du vin, grâce à la science de la fermentation, qui est en réalité une des plus difficiles qui existent, une de celles qui demandent le plus de culture intellectuelle.

Enfin le raisin, comme tous les autres produits agricoles, peut fournir des sous-produits de valeur que l'industriel ne négligera pas, tandis qu'à ce jour, ils sont presque entièrement gaspillés et perdus.

Donc il faut industrialiser les produits de la vigne et faire cesser l'esprit de particularisme étroit et stérile qui trop souvent isole chaque producteur dans sa petite sphère, et le livre sans armes à tous les caprices du climat et même de la spéculation.

Certes il y a de grands crus de vins, connus et justement appréciés, qui doivent conserver leur personnalité, et qui n'ont besoin de l'appui de personne; mais cela représente une trop

faible exception. Tous les autres, c'est-à-dire au moins 90 0/0 de la production, ont besoin du secours de l'industrie, surtout aujourd'hui où ils sont guettés par les maladies cryptogamiques.

Quelques tentatives individuelles se sont déjà fait jour principalement chez les très gros propriétaires qui, étant plus riches et ayant de grandes récoltes à traiter, se trouvaient dans l'obligation d'opérer d'une façon quasi industrielle.

Ces tentatives si louables n'ont pas été sans soulever de véhémentes protestations.

Le vin, a-t-on dit, ne peut pas être assimilé aux autres produits agricoles. Le livrer à l'industrie ! Nous savons ce que cela veut dire : c'est ouvrir la porte à toutes les cuisines malsaines, à toutes les sophistications sous prétexte de corriger la nature. Celui-ci trouvera son jus trop peu acide et il y rajoutera de l'acide tartrique ou citrique. Celui-là trop peu sucré et il y mettra du sucre de betteraves. Un troisième blanchira son vin avec des bisulfites, lui donnera le goût de Sauterne en rajoutant de la glycérine, etc.

Les intransigeants vont jusqu'à proscrire l'emploi des levures pures et la pasteurisation du vin. Tant pis pour le propriétaire si son vin casse ou tourne; il n'a qu'à se laisser ruiner passivement. Cela fera autant de vin en moins sur le marché.

C'est calomnier l'industrie que d'en faire le synonyme de sophistication. Je prétends au contraire que l'industriel est surveillé par trop de collaborateurs pour pouvoir frauder. D'abord l'industrie du vin ne pourrait se dérober au contrôle de la Régie, tandis que le petit viticulteur est entièrement maître chez lui, et il peut facilement, sans que cela se sache, faire toutes les cuisines répréhensibles, parce qu'il opère lui-même. On ne s'en aperçoit que trop.

Quant à l'emploi de levures pures et de la pasteurisation, les possesseurs des grands crus du Bordelais et de la Bourgogne ont vraiment trop beau jeu à les condamner. La nature leur a fourni des terroirs dont les levures sont excellentes, et des cépages qui produisent des vins généreux et de longue conservation. Ils sont l'aristocratie de la viticulture. Mais peuvent-ils refuser à la plèbe d'aspirer à devenir une bonne bourgeoisie ? Peuvent-ils même nier que les vins bourgeois sont aujourd'hui presque tous des valétudinaires et qu'ils ont besoin, soit de la pasteurisation, soit d'une suralcoolisation ?

La grande masse des vins fournie par le Midi est roturière.

Le climat, généralement trop chaud, est défavorable à la fermentation; enfin, pour comble, les vignobles sont affligés de maladies cryptogamiques qui attaquent le grain du raisin et engendrent des odeurs accessoires déplaisantes, en même temps que leurs germes, diffusés dans le vin, rendent sa conservation très précaire s'il n'est pas suffisamment alcoolique.

Personne ne peut interdire que, mettant en pratique les découvertes de Pasteur sur la fermentation, on préserve cette opération délicate contre les bactéries dangereuses qui sont ses ennemis, ni qu'on améliore le produit par l'ensemencement d'une levure de bonne race substituée à la levure indigène trop commune. Il y a des étalons pour la levure comme pour les chevaux et comme pour le bétail. Ce qui se fait pour l'élevage est aussi légitime pour la production du vin. Il semble véritablement étrange qu'on soit obligé de défendre cette thèse, tant elle paraît au-dessus de toute discussion.

De même pour la pasteurisation, qui est une demi-cuisson, c'est-à-dire une opération employée journellement pour tout ce qui touche à notre alimentation.

Tous les procédés d'amélioration, de guérison, de conservation du vin basés sur l'emploi de la chaleur et sur la microbiologie pastorienne doivent être considérés comme non seulement licites mais essentiellement recommandables. Les détracteurs sont ceux qui n'ont ni la culture intellectuelle nécessaire pour bien les appliquer, ni les ressources convenables pour en assurer la bonne réalisation.

Quant aux adjuvants chimiques, c'est une autre affaire, et il y a des distinctions à établir. Pour le vin lui-même, comme d'ailleurs pour tous les produits alimentaires. on peut admettre l'adjuvant chimique ou le réactif quand sa présence est essentiellement passagère et qu'on l'élimine intégralement ensuite. Ainsi, dans la fabrication du sucre, on ne peut blâmer l'emploi de la chaux, de l'acide sulfureux, ni même de la baryte, parce qu'on les élimine ensuite et qu'il n'en reste pas dans le produit alimentaire final, c'est-à-dire dans le sucre cristallisé.

Si l'adjuvant doit rester à demeure dans le vin, nous ne croyons pas non plus qu'on puisse critiquer son usage au point de vue de l'hygiène publique et de la moralité du commerce dans le cas où il s'agit d'un produit qui soit lui-même *d'origine vineuse*. Ainsi l'addition d'un peu de tartrate de potasse dans un vin qui n'a pas assez d'acidité naturelle (comme en général les vins

algériens) ne nous semble nullement répréhensible, parce qu'en somme on a retiré ce tartre d'un autre vin et que c'est comme si on avait coupé le vin trop plat avec un vin trop tartré pour les corriger l'un par l'autre.

En résumé, l'industrialisation de la fabrication n'a rien de critiquable, et bien loin d'être une incitation à l'adultération des produits, c'est, au contraire, une garantie de production honnête et intelligente, c'est la sécurité du consommateur par les facilités de surveillance, c'est l'assurance d'avoir un vin de bonne conservation, fermenté au moyen de toutes les ressources des travaux de Pasteur et de ses disciples.

Toutes les insinuations contraires ne représentent que l'éternelle résistance de la routine au progrès, que la lutte aveugle de malheureux viticulteurs ruinés et incapables de discerner les causes réelles de leur lamentable situation.

D'un autre côté, il ne faut pas croire que les tentatives d'industrialisation soient exemptes de difficultés et de dangers.

Les résultats obtenus par les initiateurs n'ont pas été aussi rémunérateurs qu'on aurait pu l'espérer, parce qu'il y a un obstacle économique qui pèse lourdement sur toutes ces tentatives : les vendanges ne durent que 15 à 20 jours, rarement 25 jours. Donc le matériel industriel ne travaille que trop peu de temps pour que son amortissement soit possible, d'autant plus que le repos forcé de l'été est désastreux pour la conservation des outils guettés par la rouille et les déprédations.

Déjà en sucrerie, l'industriel est fâcheusement grevé par l'amortissement, parce que la campagne betteravière ne dure en moyenne que 2 mois à 2 mois et demi. Pour le raisin, si le matériel vinaire a coûté 100 000 f, il faut amortir 10 000 f par an, c'est-à-dire en 20 jours, donc 500 f par jour. Si l'on travaille 250 hl de jus par jour, cela grève l'hectolitre de 2 f pour amortissement. C'est très onéreux.

Avant de voir comment on pourra y remédier, examinons de plus près les améliorations légitimes que l'on peut demander à l'industrie pour assurer la production d'un vin mieux fermenté, plus agréable au goût et à l'odorat, et mieux assuré d'une longue conservation à l'abri des maladies et de la perdition.

II. — Amélioration des Crus.

1° Emploi des levures pures des grands crus.

La première ambition d'un vigneron doit être, sinon d'égaler les grands crus de notre pays, du moins de s'en rapprocher toujours davantage.

Dans cet ordre d'idées, l'on a préconisé l'emploi de levures pures de grande race pour faire l'ensemencement des jus. Pasteur a démontré en effet que la race de la levure a une importance très nette et une influence caractérisée sur le bouquet des boissons fermentées.

Voici plus de douze ans que l'on travaille dans ce sens ; le nombre des viticulteurs qui ont fait l'essai des levures pures est considérable, mais pourtant l'on n'a compté jusqu'ici que peu de succès et en voici la raison :

Jusqu'à présent l'on s'est contenté d'expédier aux viticulteurs, au moment des vendanges, quelques bouteilles de « levure-semence » en les invitant à faire eux-mêmes le réveil de la levure, puis un second levain plus copieux permettant l'ensemencement des foudres.

Toutes ces opérations préparatoires délicates sont au-dessus de la portée des viticulteurs, parce qu'ils n'ont pas l'outillage qui est indispensable pour maintenir aux levains la pureté que l'on espère. En effet, chez le viticulteur les levains successifs se font à air libre, dans des cuvelles non stérilisées, avec un moût qui lui-même n'a pas été débarrassé convenablement de ses micro-organismes, de sorte que trop souvent lorsque le levain arrive au foudre de vendange, il n'est pas pur du tout, et l'on ne retrouve pas dans le vin fabriqué le bénéfice des dépenses que l'on a faites et des soucis que l'on s'est donnés.

Pour disposer de levains à la fois purs et actifs, il faut absolument avoir recours à des appareils appropriés : on a besoin d'un générateur de vapeur pour les stérilisations et d'un moteur pour pomper les jus et pour comprimer de l'air stérilisé : en un mot, il faut tout un matériel mécanique et industriel qui, en raison de son prix, ne peut être monté que dans de très grandes exploitations vinicoles.

Je répéterai encore une fois que ce qui coûte trop cher pour un particulier, qui n'a que vingt jours pour amortir son instal-

lation, sera au contraire économique et avantageux pour une usine qui pourrait travailler huit à dix mois par an. On aura un chimiste qui surveillera ses levains avec le microscope; il les enrichira en cellules actives par une abondante injection d'air. Dans les foudres eux-mêmes, il pourra forcer la multiplication des levures, parce que ce sont elles qui sont la source des parfums délicats et œnanthiques, surtout pour la distillation, etc...

L'influence primordiale de la race de la levure et de la pureté de la fermentation n'est plus à démontrer; il y a une boisson qui en est une preuve manifeste, c'est la bière. Quel progrès, au point de vue de la qualité du produit, depuis que les toutes petites brasseries campagnardes ont été en partie remplacées par les belles brasseries industrielles! Il n'est pas une de ces grandes usines qui n'utilise la fermentation pure et qui ne conserve jalousement la race de sa levure, sans laquelle tout le cachet de sa marque serait profondément modifié.

L'on a même construit des brasseries qui fabriquaient une bière vineuse très spéciale. — La Cervoise — grâce à la substitution d'une levure de Chablis à la levure de bière. Ce seul changement de race du ferment suffisait à donner à la Cervoise un bouquet vineux très caractérisé, mais qui ne s'associait pas fort bien, il faut l'avouer, au goût mucilagineux et plat du liquide... Ces essais ont, en tout cas, mis le principe au-dessus de toute contestation.

Les distilleries industrielles se sont converties à leur tour à l'emploi des levains purs et en tirent avantage.

Pourquoi le vin ferait-il exception?

Seulement il ne faut pas demander à la levure pure de transformer à elle seule un jus de raisin du Midi en excellent Médoc ou en Bourgogne. La levure agit surtout sur les qualités *odorantes* du vin, grâce aux sécrétions volatiles qu'elle engendre. Mais elle n'a pas d'action sur les substances fixes dissoutes dans le jus, non plus que sur les odeurs préexistantes du moût de raisin.

A la place d'une fermentation vicieuse, qui engendre des ethers et des aldéhydes brûlants, souvent même des ammoniaques de putridité ou autres produits malodorants, il s'agit par la fermentation pure, d'éviter tous ces défauts. Et si, en plus, on opère la fermentation pure — réellement pure — au moyen d'une race de ferment qui donne par elle-même des sécrétions agréables, n'est-il pas évident que ces parfums, appréciés dans

les grands crus dont la levure est originaire, ajouteront une qualité bien perceptible dans le vin qui n'en possédait pas?

N'avoir pas de défaut de fermentation est une première chose.

Posséder des qualités délicates en est une seconde.

On ne peut obtenir l'identité avec le vin de grand cru, parce que la composition des matières fixes dissoutes dans le jus varie avec le cépage et le climat; mais l'on s'en rapproche toujours davantage, et la plus-value qui en résulte pour le vin n'est pas à dédaigner.

Je reviendrai tout à l'heure sur l'outillage qui permet de réaliser la fermentation réellement pure des vins. Pour le moment je veux simplement citer les noms des principaux savants qui, s'inspirant de l'œuvre de Pasteur, ont été les plus ardents apôtres de la fermentation pure et de bonne race auprès des viticulteurs; ce sont les Rietsch, Martinand et surtout Jacquemin. Leur persévérance, digne de tous les éloges, n'a pas été toujours couronnée d'un succès manifeste, j'ai dit tout à l'heure pourquoi: c'est que l'outillage mis à leur disposition dans les chais primitifs des viticulteurs est beaucoup trop rudimentaire. Il faudrait faire la stérilisation totale des moûts de vendange. C'est très réalisable, mais dans des conditions économiques spéciales, que nous verrons dans un instant. Le principe est irréprochable; son mode d'application seul a été la cause des nombreux insuccès.

2° Épuration des jus de raisin.

Voilà donc un premier moyen de donner aux vins roturiers un cachet de distinction qui augmentera leur valeur. Mais c'est encore insuffisant, surtout depuis que le raisin est attaqué par de nombreuses maladies crytogamiques qui leur ont imprimé une tare manifeste.

La tare résulte à la fois des maladies elle-mêmes, et indirectement des remèdes qu'on y a apportés.

Les maladies introduisent dans le jus du raisin toutes les bactéries qui caractérisent la pourriture grise, l'oïdium, le mildiou, le black-rot, etc.

Comme action indirecte, il faut signaler l'influence du greffage de nos cépages français, sur des plants américains très vigoureux, trop vigoureux même; le greffage n'a, il est vrai,

modifié qu'insensiblement la composition chimique des jus, mais le plant américain fournit aux raisins de telles quantités de sève, que la peau du grain en éclate parfois, livrant ainsi la pulpe intérieure à l'attaque des micro-organismes de maladies.

Si l'on veut mettre en relief la tare apportée aux vins par les maladies, il suffit de distiller ces vins et de déguster l'eau-de-vie obtenue. On y reconnaîtra, à n'en pas douter, les odeurs de moisissure et de putridité et cela même dans des vins fermentés très correctement avec de la levure pure.

Si l'on peut y remédier, si l'on peut enlever pratiquement ces odeurs, il est certain qu'on apportera au vin une amélioration de qualité qui aura la plus heureuse influence sur sa valeur marchande.

Eh bien, on peut enlever les odeurs apportées par les maladies du raisin; c'est un problème qui est résolu, et qui a l'épreuve de la pratique en grand. La théorie du procédé est la suivante :

Lorsqu'on distille un vin provenant de raisins malades, avons-nous dit, l'eau-de-vie est tachée. Donc la tache est un principe volatil, puisqu'elle est sortie du vin par l'ébullition en même temps que l'alcool; mais ce principe volatil existait dans le vin *avant l'alcool*, il existait dans le jus, au sortir du pressoir, *avant toute fermentation*.

Il suffit donc de faire une distillation préalable du jus avant toute fermentation, pour faire sortir ce néfaste principe volatil de putridité. Une fois le jus ainsi débarrassé et stérilisé par la même occasion, on le fera fermenter au moyen de levains purs provenant de telle race que l'on désirera (levures de Chablis, de Cognac, de Champagne selon les cas). Il n'aura plus de tare due aux maladies microbiennes, non seulement parce que la distillation *avant fermentation* a chassé les odeurs préexistantes, mais aussi parce que l'on a mis, grâce à la stérilisation, tous les mauvais germes dans l'impossibilité de produire de nouvelles odeurs, tous ces germes étant tués. La levure de grande race fait le reste.

Il y a plus. Ce nouveau procédé de distillation avant fermentation rend encore le service d'expulser les odeurs de terroir, quand il y en a. La preuve expérimentale a été faite que si l'on prend dans les confins de la Charente des vins dits « à terroir », c'est-à-dire qui occasionnent dans l'eau-de-vie une odeur de terroir très défavorable à la valeur du produit, toute cette

odeur préexistante de terroir est chassée par la même distillation préalable qui enlève les odeurs de moisissure et de pourriture grise. C'est un nettoyage général avant fermentation.

Nous verrons plus loin que, si l'on a sulfité les jus pour les conserver par mutage, le gaz sulfureux, lui aussi, se trouve élagué par la même opération. Rien de ce qui est volatil dans le jus ne peut échapper à cet émondage, du moment qu'il est pratiqué par des moyens puissants et un appareil bien approprié. Cet appareil a besoin du concours simultané de la chaleur, du vide et d'une forte aération. Tout cela, ce sont des moyens physiques absolument licites vis-à-vis de toute substance alimentaire, et les personnes les plus pointilleuses sur ce chapitre ne peuvent y trouver à redire. Aucun réactif chimique n'est employé.

On objectera peut-être que le vin prendra le goût de cuit; l'expérience industrielle a prouvé que non.

D'abord, grâce au vide, l'on ne chauffe pas jusqu'à ébullition. On n'atteint que juste la température nécessaire pour tuer les diastases et les oxydases auxquelles on est redevable de la casse des vins. La fermentation, venant après cette opération, se charge de rendre au vin toute sa fraîcheur grâce au gaz carbonique. On sait du reste qu'on peut pratiquer la pasteurisation du vin jusqu'à 100 degrés sans donner le goût de cuit, si cette pasteurisation se fait en présence de gaz carbonique.

J'ai réuni dans un même cliché l'ensemble des opérations d'une vinerie, telles qu'elles ont été montées pour les vendanges dernières dans l'usine des Mathes près de Marennes.

A gauche, l'on voit d'abord l'appareil de stérilisation et purification continue du jus non fermenté. Il se compose d'une première colonne distillatoire A pouvant résister à un certain vide, et d'un chauffeur tubulaire B. C est un réfrigérant de forme spéciale pour refroidir l'air et les vapeurs qui se dégagent de la colonne A. Au rez-de-chaussée se trouvent un récupérateur de chaleur D et un réfrigérant du jus E. F est une cuvette barométrique, G la pompe à faire le vide, H le régulateur de vide, K le bac à jus brut avec son régulateur à flotteur *k*.

Le jus à stériliser, dont l'alimentation est réglée par le robinet r_1, se réchauffe dans D au contact du jus purifié. Il remonte au haut de A. Dans la colonne à plateaux A, le jus est soumis à un violent barbotage d'air par le moyen suivant : la pompe G fait le vide et le régulateur H, lorsque le vide atteint un point

déterminé, ouvre un papillon de rentrée d'air *p*. En même temps le tubulaire B, chauffé par l'échappement de vapeur de la pompe à air G, et au besoin par un peu de vapeur supplémentaire, élève la température du jus pour en faire la stérilisation.

Le jus chaud et purifié descend au récupérateur D, et passe ensuite au réfrigérant E, afin qu'on lui donne la température que l'on désire pour la fermentation ou pour le levain pur.

L est l'appareil à levains purs. Il reçoit le jus stérilisé au moyen du monte-jus M. Cet appareil fonctionne d'une façon quasi continue. En effet, au début, après l'avoir stérilisé à la vapeur, on introduit une première charge de jus stérile et on l'ensemence avec de la levure pure de race appropriée à ce que l'on désire. Lorsque la fermentation est bien établie, on y injecte de l'air stérilisé et on remplit l'appareil.

On prélève les quatre cinquièmes du liquide comme levain pur que l'on envoie dans un foudre de fermentation, et aussitôt après, on recharge l'appareil à levains au moyen du monte-jus M.

L'air est injecté de deux façons : 1° au moyen d'un barboteur situé au fond de l'appareil ;

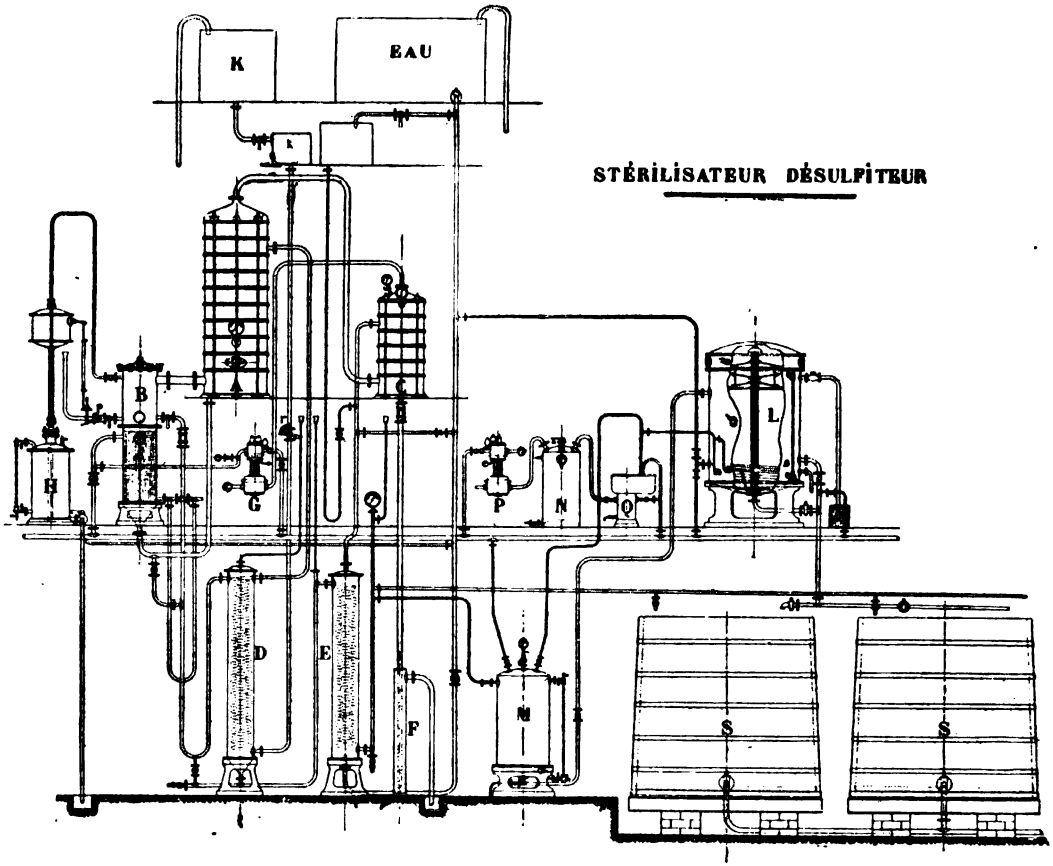
2° Au moyen d'une couronne à ajutages, dont chaque ajutage est placé à l'orifice inférieur d'un petit tube vertical. Le faisceau des tubes verticaux fonctionne comme élévateur de jus, par un phénomène dit « d'émulsion », et le jus élevé se déverse en nappe mince sur deux plateaux coniques pour aérer énergiquement la levure au large contact de l'air. Cette « aérobiose » donne au levain une activité toute particulière, en même temps qu'elle tue toutes les bactéries anaérobies qui auraient pu réussir à pénétrer dans le levain.

En pratique, un tel levain reste pur pendant plusieurs mois de suite ; le système est donc extrêmement simple comme application.

L'air est refoulé au moyen de la pompe P dans le réservoir N. De là il se purifie de tous ses microorganismes dans le stérilisateur à coton Q. Le filtre à coton est contenu dans une double enveloppe à vapeur qui permet de temps en temps de chauffer le coton à 110-120 degrés pour le stériliser.

L'image représente enfin à droite les foudres de fermentation S dans lesquels viennent couler les levains purs de L et le jus stérilisé sortant du réfrigérant E.

Il est superflu de dire que les foudres S doivent être très soi-


K
EAU
STÉRILISATEUR DÉSULFITEUR
B
H
G
D
E
F
P
N
Q
L
M
S
S

gneusement aseptisés au bisulfite de chaux, puis lavés à grande eau avant de recevoir les jus à faire fermenter.

Tel est l'ensemble du montage, auquel il faut ajouter le générateur de vapeur, la pompe à eau et la pompe à jus. La dépense de charbon est à peu près de trois kilos par hectolitre de jus de raisin traité, soit sept à neuf centimes, suivant le prix du charbon.

III. — Vineries agricoles travaillant toute l'année.

Alors s'est présenté un autre problème. Il ne suffit pas d'arriver au résultat industriel. Il faut que les bénéfices à obtenir couvrent largement les frais du travail, et vaillent les risques de l'immobilisation des capitaux. En effet les nouveaux procédés décrits ne sont efficaces que si on les réalise avec toutes les ressources de l'industrie mécanique. Or la vendange ne dure que vingt à vingt-cinq jours; quels seront les frais d'amortissement? Comment paiera-t-on le personnel technique dirigeant?

Nous avons déjà fait pressentir la solution: elle réside dans la conservation des jus par mutage pour être centralisés dans une vinerie agricole bien dirigée.

Chaque viticulteur continuera à faire sa propre vendange et à la presser par les moyens qu'il possède; seulement, au lieu de mettre le jus en fermentation, il ne l'enverra en cuves que muté à l'acide sulfureux pour empêcher toute fermentation. Les jus ainsi stérilisés peuvent se conserver un an si l'on veut, et tout le monde sait que le mutage à l'acide sulfureux est une opération des plus rustiques et des plus simples.

Si l'on construit une usine de vinification au centre d'une contrée viticole, et que cette usine possède comme nous venons de le dire un procédé sûr pour opérer le désulfitage des jus sucrés, l'usine pourra faire venir à tour de rôle les jus du voisinage et les faire fermenter après la destruction du mutage. Donc on ne sera limité dans la durée du travail annuel de cette usine que par l'approvisionnement des jus mutés du voisinage et par les grandes chaleurs de l'été, pendant lesquelles il vaudra parfois mieux s'abstenir.

La vinerie agricole, organisée comme les sucreries, distilleries, féculeries, beurreries, etc. pourra s'organiser sur un grand pied industriel et commercial. Elle pourra entretenir des relations avantageuses non seulement avec le marché indigène, mais

encore avec les pays étrangers, chose à peu près impossible aux viticulteurs isolés.

Les vineries pourront également se spécialiser suivant les régions dans lesquelles elles seront montées, c'est-à-dire suivant la nature des jus fournis par les vignes environnantes.

En Charente et dans ses confins, l'on annexera une distillerie à la vinerie, l'amélioration des jus permettant de produire des cognacs extrêmement fins et dépourvus de toute odeur de terroir.

En Algérie, l'on profitera de la très grande richesse en sucre des moûts pour préparer des vins de liqueur (mistelles, muscats, etc.)

Dans la Marne on améliorera les crus secondaires et on les rendra aptes à faire d'excellents vins de Champagne d'un prix moins élevé que les grands crus.

Dans le Midi, on améliorera tous les vins communs, blancs et rouges, au profit du consommateur, et l'on facilitera ainsi leur vente à l'étranger. Il est indispensable, en effet, que les vins puissent supporter sans aucun risque les aléas des grands voyages particulièrement dans les pays chauds, tandis que la vinification actuelle ne protège pas suffisamment les produits contre les maladies ultérieures. Il n'en sera plus de même avec les vins provenant de jus stérilisés et fermentés d'une façon rationnelle et irréprochable.

Ajoutons également que toutes les vineries pourront profiter de leur organisation mécanique et de leur personnel technique pour annexer une distillerie des marcs du voisinage.

Tout ce que nous venons de dire pour le vin s'applique aussi au cidre. Dans les mêmes conditions, l'on pourra, avec les nouveaux procédés créer des cidreries agricoles réunissant les jus de pommes préalablement sulfités de toute une région.

La cidrerie pourra faire du cidre toute l'année, et par conséquent donner aux consommateurs un cidre toujours à point. On sait combien cette condition est aujourd'hui difficile à réaliser. Dès le printemps les cidres travaillent et deviennent durs et acétiques. De sorte que l'on est privé de cette boisson gazeuse et rafraîchissante précisément au moment de l'année où elle ferait le plus de plaisir. Désormais le cidre mousseux sera toujours juste à point, parce qu'on le fera au fur et à mesure des besoins de la consommation. On sait qu'aujourd'hui le cidre se transporte très difficilement. La difficulté sera tournée puis-

qu'on créera des cidreries sur les lieux de consommation, et que les jus sulfités seront amenés à l'usine sans le moindre risque d'altération.

Disons encore que l'un des obstacles au développement de la consommation du cidre provient de ce qu'il n'est jamais limpide, et le consommateur déteste les boissons troubles. Il sera très facile à la cidrerie, industriellement organisée, de résoudre ce problème par les fermentations pures. Ce jour-là la consommation du cidre décuplera.

IV. — Distillation des Vins.

La distillation est un important débouché pour le vin, non seulement en vue de l'eau-de-vie pour elle-même, mais aussi parce que les esprits à haut degré sont nécessaires à la chaptalisation des vins trop faibles et à la fabrication des vins de liqueur. Les vins sucrés étant presque toujours des vins de luxe, il est désirable d'employer des esprits qui ne puissent apporter de mauvaises odeurs aux jus de raisins auxquels on les ajoute. Il serait même favorable que, pour cet usage, l'esprit conservât un peu de son arôme originel.

La fabrication d'eau-de-vie genre cognac est bien moins répandue en raison de l'insuccès à peu près complet de ces tentatives en dehors de la région des Charentes. En effet, les vins du Midi et de l'Algérie sont généralement si mal fabriqués que l'eau-de-vie qui en résulte est franchement mauvaise.

La distillation à haut degré est elle-même impuissante à donner un produit sans défaut, de sorte qu'on peut dire que, en vue de la distillation, tout est à réformer radicalement dans les méthodes œnologiques de ces régions et également dans leurs appareils distillatoires.

L'alambic proprement dit, à feu nu, n'y existe pas. L'alambic ancien ne peut en effet donner que de l'eau-de-vie à 65-70 degrés au plus, en deux distillations successives, degré insuffisant pour les vins de liqueur, et, en outre, cette eau-de-vie n'est bonne que lorsque les vins n'ont aucune tare originelle de terroir ou de pourriture, et que leur fermentation a été irréprochable.

A ce double point de vue, les procédés de vinification décrits ci-dessus résoudront complètement le problème, et, par conséquent non seulement ils fourniront de meilleurs esprits à haut

degré, mais même ils permettront de créer en eau-de-vie genre cognac un débouché qui aujourd'hui n'existe pas.

Ajoutons que, même lorsque les vins sont parfaits comme origine et comme fermentation, l'ancien alambic charentais est avantageusement remplacé par des appareils continus à vapeur étudiés spécialement pour cette destination.

La continuité de la distillation présente d'immenses avantages comme économie d'installation et de combustible, mais on n'était pas arrivé jusqu'ici à égaler les produits des alambics travaillant en *brouillis* puis en *repasse.*

Le résultat peut pourtant être fourni d'une façon complète. En une seule passe, les eaux-de-vie obtenues à 65-70 degrés, sont bien plus riches en éthers fruités agréables que les eaux-de-vie d'alambics. Ce résultat est obtenu par des cuissons prolongées intimes.

Enfin l'appareil possède en plus l'avantage de vieillir et d'assouplir l'eau-de-vie, tout en lui retirant quelques mauvais gaz de fermentation et certaines aldéhydes brûlantes qui n'abandonnent au contraire que très lentement les eaux-de-vie jeunes des meilleurs crus lorsqu'on les obtient à l'alambic.

L'appareil nouveau produit donc un affinage et un vieillissement de l'eau-de-vie, en même temps que, par un triage automatique, il élague certaines substances nuisibles et notamment les verdeurs de la jeunesse.

L'eau-de-vie, dès le sortir de l'appareil, présente un cachet de distinction et de finesse qui l'emporte de beaucoup sur les eaux-de-vie faites à l'alambic. Ajoutons même que cet outil a cela de remarquable, c'est qu'il permet de doser à la volonté du dégustateur les effets que l'on désire, accentuant au commandement, ou la finesse, ou l'intensité d'arome. On corrige à son gré le produit, tandis que par les anciens procédés, on est réduit à accepter les eaux-de-vie telles qu'elles sont, au point que, dans les années défavorables on renonce à classer l'année en raison de l'infériorité des produits.

Qu'il s'agisse de faire de l'eau-de-vie genre cognac, ou bien de fabriquer des esprits à très haut degré pour vins de liqueurs ou pour liqueurs fines, les appareils continus permettent de corriger toujours les eaux-de-vie, et élaguent à la distillation les impuretés aldéhydiques, acides, ou amyliques qui, dans tous les autres systèmes, sont maintenues dans l'eau-de-vie et en souillent le goût dès qu'il ne s'agit pas d'un vin irréprochable.

Il faut enfin remarquer que, au point de vue hygiénique, l'enlèvement des impuretés de fermentation devrait être rendu obligatoire, car elles sont nuisibles au bouquet autant qu'à la santé.

V. — Essor de l'Exportation.

Le mal dont souffrent le vin et le cidre est la surproduction.

La consommation ne peut guère augmenter. Donc il faut faire disparaître les excédents par l'exportation.

Celle-ci est contrecarrée par des droits de douane exorbitants frappant toutes les boissons fermentées et les spiritueux.

Or rien n'empêchera désormais de créer des vineries ou des cidreries centrales à l'étranger même. Au lieu d'exporter les vins ou les cidres une fois fermentés, on les expédiera sous forme de jus sulfités, généralement exempts de droits. Ne voyons-nous pas déjà des trains entiers de raisins ou de pommes traverser nos frontières?

Cette exportation du fruit ne peut durer que quelques jours, tandis que celle du jus muté peut durer toute l'année.

L'on voit tout de suite l'avenir considérable de cette nouvelle manière de faire, et les débouchés qui en résulteront.

Pour les vins de liqueur, muscats et mistelles, l'étranger ajoutera lui-même son alcool indigène dans les jus désulfités, tandis qu'aujourd'hui l'on est obligé de payer les droits de douane sur l'alcool que nous mettons.

Dans d'autres pays se développe beaucoup l'usage des *vins de tempérance*, qui ne sont en définitive que des jus de fruits non fermentés. Mais comment assurer actuellement la bonne conservation de jus aussi éminemment altérables?

Tandis que le transport des jus sulfités ne comporte aucune difficulté, aucun aléa. Une vinerie de tempérance réglera ses désulfiagtes journaliers sur les besoins de sa clientèle, et fournira les produits stérilisés de la veille, s'il le faut, c'est-à-dire sans le moindre risque d'altération.

Les pays où se développe cette industrie sont la Belgique, la Suisse, le Canada, les États-Unis, etc., voire même certaines régions de la France. Que la vinerie de tempérance incorpore un peu de gaz carbonique dans ses boissons, et, grâce à ce stimulant de la dégustation et de la digestion, si apprécié de tous les pays habitués à la bière, les vins de tempérance feront des pro-

grès incroyables. Ne voyons-nous pas avec quelle faveur on demande du vin doux dans nos restaurants parisiens à l'époque des vendanges? Il y a de ce côté-là un débouché de très grand avenir pour les produits de notre sol, étant donnée surtout l'amélioration de la qualité que nous apportons par notre traitement du jus.

Les *vins mousseux* sont également en très grande faveur dans les pays étrangers; malheureusement notre clientèle va plutôt en diminuant à cause de la surélévation de prix presque prohibitive qu'imposent à ces produits des tarifs douaniers énormes, tant sur le vin que sur les bouteilles. A cela s'ajoutent les frais d'emballage particulièrement élevés, plus les déboires occasionnés par la casse des bouteilles.

Toutes ces difficultés s'aplanissent si nous envoyons à l'étranger les jus susceptibles de champagnisation sous forme de jus mutés à l'acide sulfureux. Le transport se fait en tonneaux, et comme la douane ne peut savoir si le jus deviendra vin de tempérance ou vin mousseux, elle ne peut appliquer de tarifs d'exception.

On ne peut imaginer à quel point se développera l'exportation de nos jus mutés, non seulement en Europe, mais encore en Amérique et dans les pays chauds. Quantité de pays sud-américains n'ont renoncé à acheter des cidres mousseux, malgré leur goût pour cette boisson, que par suite de l'altération du produit en cours de transport, et aussi en raison du déchet de route par explosion des bouteilles. Toute cette clientèle reviendra quand on sera en mesure de la satisfaire au moyen de vineries et de cidreries créées sur place et recevant leurs jus naturels de France sous la protection efficace de l'acide sulfureux.

Dans d'autres pays plus proches, on achètera peut-être les vins à eaux-de-vie des Charentes, pour avoir toute certitude sur l'authenticité du produit. D'autres applications commerciales sont encore à prévoir, qui ne prendront naissance que par les ressources nouvelles puisées dans l'apparition des jus mutés sur les marchés du monde.

Ce jour-là la culture française n'aura plus besoin de restreindre ses plantations de vigne ou de pommiers; elle deviendra le fournisseur attitré du monde entier pour les boissons hygiéniques et agréables, grâce à la générosité de son sol et de son climat. C'est à ce résultat qu'il faut tendre pour résoudre la question agraire plutôt que de compter sur les mesures législatives.

VI. — **Les sous-produits.**

Nous avons dit en débutant que l'industrialisation de l'œnologie aurait comme avantage accessoire celui d'amener l'utilisation de sous-produits qui actuellement sont gaspillés.

Sans entrer dans de grands détails à ce sujet, nous nous contenterons d'une énumération sommaire.

Tout d'abord, l'usine étant pourvue de générateur, machine, pompes, eau fraîche, etc., possédant en un mot un bon outillage mécanique avec toutes ses commodités, elle pourra, dans de bonnes conditions, entreprendre la distillation des marcs produits par ses voisins et fournisseurs de jus.

La distillation du marc doit être encouragée comme la meilleure solution pour l'utilisation de ces résidus. En effet, l'on évite ainsi la fabrication de ces piquettes qui trop souvent sont versées dans les vins, et qui augmentent ainsi d'une façon frauduleuse la production déjà excessive de nos récoltes de vin. Lorsque les marcs sont traités *industriellement*, on peut en obtenir des alcools parfaits, sans aucune odeur défavorable, et pouvant servir à faire des mistelles ou des liqueurs.

La vinerie tirera encore un meilleur parti du marc distillé : elle le tamisera pour séparer en trois lots les pépins, les pellicules et les râfles. Ces dernières peuvent être brûlées, mais les pépins sont une excellente nourriture pour la volaille (après expulsion de l'alcool), et les pellicules passées à la touraille constituent une alimentation de premier ordre pour le bétail.

Le viticulteur trouvera donc dans cette manière d'utiliser les marcs des profits très appréciables, qui lui échappent presque complètement aujourd'hui.

Il y a plus. Si le marc provient de vins rouges, il contient une quantité fort respectable (de 2 à 4 0/0) de crème de tartre, laquelle à l'état brut vaut environ 1 fr. 35 le degré. La vinerie ne laissera pas perdre ce sous-produit de grande valeur.

Si la vinerie a pour but principal la distillation des vins, comme cela aura lieu particulièrement dans les confins de la Charente, elle n'oubliera pas que le vin distillé contient, lui aussi, du tartre et qu'il est facile de l'obtenir. Enfin, après avoir concentré ses vinasses pour faire cristalliser le bitartrate de potasse, elle obtiendra encore un dernier sous-produit de prix élevé : la glycérine.

La glycérine *de fermentation* a un caractère particulier; elle est beaucoup plus sucrée que la glycérine de saponification des corps gras, et de plus elle ne possède pas son odeur de suif. C'est une *œnoglycérine* qui peut être employée dans les vins trop secs ou trop pauvres naturellement en glycérine. Il y a là un débouché d'une importance considérable, et, comme nous l'avons dit en débutant, du moment qu'il s'agit d'un produit extrait du vin, l'on ne sera pas répréhensible si on l'introduit à nouveau dans certains vins. Tandis que l'introduction des glycérines de suif prête le flanc à une critique trop justifiée.

Conclusion.

Par toutes ces indications sommaires, l'on peut avoir un aperçu d'ensemble sur les avantages considérables que présente l'exploitation *industrielle* par rapport aux procédés de vinification actuellement en usage dans chaque petit chai. Il ne nous reste plus qu'à faire ressortir, comme nous l'avons dit du reste en commençant, que ces grandes entreprises vinicoles deviendront des puissances commerciales pouvant se créer des débouchés directs au loin, non seulement dans le pays même, mais également dans les pays étrangers.

La plupart des vins communs ne peuvent jusqu'à présent franchir la frontière, parce que les droits de douane de l'étranger sont généralement très élevés et qu'ils deviennent prohibitifs quand il s'agit de vins de peu de valeur comme ceux que l'on fabrique couramment aujourd'hui.

Mais lorsque l'on aura employé les procédés ci-dessus décrits, il n'y aura plus de crus médiocres, tous les vins auront une qualité suffisante pour que leur valeur intrinsèque leur permette l'exportation au dehors malgré toutes les entraves des frais de transport et des taxes de douane. On créera ainsi des débouchés à la viticulture, tandis qu'aujourd'hui elle est enserrée étroitement dans ses frontières et ne souffre que du manque de débouchés.

Donc c'est à la viticulture de se suffire à elle-même en ayant recours à l'industrialisation de ses produits, et l'histoire de toutes les industries agricoles montre que ces nouvelles organisations à bases financières et commerciales puissantes sont susceptibles de créer des perfectionnements imprévus, pouvant avoir, au point de vue économique, les plus heureuses conséquences.

Nous avons énuméré une quantité de formes sous lesquelles le jus de raisin français pourra trouver à l'étranger des débouchés qu'il ne connaît pas aujourd'hui. Il faudra évidemment quelque temps pour donner un essor convenable à ces tentatives; mais il est loisible dès à présent, et sans aucun aléa à courir, de commencer par faire les vins *meilleurs*. Si les vins plébéiens acquièrent leurs lettres de bourgeoisie en même temps qu'une santé robuste, si les vins déjà bourgeois conquièrent, eux aussi, avec une meilleure défense contre la maladie, un cachet de distinction et de grande race, cela suffira déjà pour favoriser dans de grandes proportions notre commerce d'exportation. C'est bien là le but que nous poursuivons pour le relèvement du marché, en même temps que pour sauver la viticulture de la situation lamentable dans laquelle elle risque de sombrer si on ne lui apporte de prompts et énergiques remèdes.

LES

CHEMINS DE FER A CRÉMAILLÈRE

PAR

M. A. LÉVY-LAMBERT

CHAPITRE I

Considérations générales. — Adhérence.

Le développement si considérable des voies ferrées, leur extension qui a dépassé toutes les prévisions possibles et changé les conditions de la vie humaine dans tous les pays civilisés; toutes ces conséquences, si importantes qu'elles puissent être, découlent cependant du simple fait suivant résultant des lois du frottement : pour faire progresser un véhicule sur une route horizontale ordinaire il faut lui appliquer une force dont l'intensité est environ les 3/100 de son poids; sur une voie ferrée en palier le véhicule se meut sous l'action d'une force égale au aux 3/1 000 de son poids et ce à une vitesse quatre fois plus grande.

C'est-à-dire que l'effort à développer pour faire avancer un véhicule sur rails n'est que le 1/10 de celui qu'il faut exercer pour faire rouler la même charge sur une route si l'on fait abstraction de la résistance de l'air; la vitesse étant quadruple.

Cette conclusion n'est vraie qu'en palier; dès que le profil de la route s'incline, la pesanteur intervient et, qu'il s'agisse de route ou de voie ferrée, à la force précédemment indiquée s'ajoute algébriquement la composante de la gravité : positive en rampe, négative en pente, la valeur de cette composante étant égale approximativement à autant de kilogrammes par tonne du véhicule qu'il y a de millimètres dans la tangente de l'angle de la déclivité.

Ainsi, pour faire rouler un véhicule de 15 t sur rails en palier, il faut développer un effort de 45 kg; mais sur une rampe de 25 mm l'effort supplémentaire dû à la gravité est de $15 \times 25 = 375$ kg; plus de huit fois l'effort en palier.

A cette considération s'en joint une autre pour aggraver l'effet

fâcheux des déclivités; c'est la limitation de l'effort de l'appareil de traction, de la locomotive; nous voulons parler de l'adhérence.

Si la locomotive avance sur le rail, c'est parce que les roues motrices rencontrent plus de résistance à tourner sur place, à patiner, qu'à rouler en cheminant.

Le rapport entre la force nécessaire à la propulsion p et le poids P chargeant les roues motrices est ce que l'on appelle le coefficient d'adhérence $f = \frac{p}{P}$; c'est en réalité le frottement de glissement de fer sur fer, dont la valeur moyenne est d'environ $\frac{1}{7}$. L'effort de traction p est-il supérieur au produit Pf, la machine ne peut plus avancer, les roues tournent sur place, on dit que la machine « patine ».

Cherchons à partir de quel moment une machine remorquant un train est exposée à patiner à la montée d'une rampe.

Soit P le poids du train en tonnes;

a la résistance du train en palier en kilogrammes;

p le poids de la machine à adhérence totale en tonnes;

ω le poids du tender en tonnes;

ε la résistance par tonne de la machine et du tender;

i l'inclinaison en millimètres par mètre de la rampe;

f le coefficient d'adhérence.

On aura au moment de la limite d'adhérence :

$$1\,000\,pf = P(a + i) + (p + \omega)(\varepsilon + i) \qquad [1]$$

$$P = \frac{1\,000\,pf - (p + \omega)(\varepsilon + i)}{a + i}.$$

Si $a = 3$ kg $\quad p = 35$ t $\quad \omega = 16$ t $\quad \varepsilon = 12{,}5 \quad f = \frac{1}{7}$:

Pour $i = 20$ mm, P = 145 t;

Pour $i = 50$ mm, P = 34 t.

C'est-à-dire que sur une rampe de 50 mm, une machine ordinaire à tender séparé, pesant 51 t avec son tender, ne remorquerait plus que 34 t; pas tout à fait les trois quarts de son poids.

On remarquera que la condition trouvée est indépendante de la vitesse; on ne gagne rien en réduisant la vitesse, c'est le poids adhérent qui fait défaut.

Toutefois, nous avons envisagé ici le cas d'une locomotive à tender séparé; on peut améliorer l'effet utile en employant des machines tender à adhérence totale. Serrons donc la question de plus près, et voyons ce que donne cette solution. Il suffit dans la formule précédente de faire $\omega = 0$ et $P = p$; on en déduit $2i = 1\,000\,f - (a + \delta)$ et $i = \dfrac{1\,000\,f - (a + \delta)}{2}$; on trouve $i = 62$ mm.

Ainsi, sur une pente de 62 mm une machine-tender à adhérence totale remorquerait à peine un poids égal au sien.

Prenons un cas extrême : celui d'un véhicule automobile.

On a alors $1\,000\,pf = p(a + i)$ ou $i = 1\,000\,f - a$, d'où $i = 140 - 3 = 137$ mm.

Le coefficient d'adhérence étant sujet à variations, on reste en pratique au-dessous de cette limite. Au tramway de Longemer à Retournemer, les déclivités atteignent 95 mm; aux tramways de Boulogne 120 mm, à Laon 122 mm, toutes lignes exploitées par simple adhérence à l'aide de voitures automobiles électriques.

Il existe toutefois une autre limite arrêtant la propulsion en forte rampe; c'est celle résultant de la légèreté spécifique de la machine.

Cette limite a été indiquée ainsi par Couche (1) :

Soit T le travail disponible par unité de temps sur les roues motrices;

π le poids de la locomotive-tender à adhérence totale;

P le poids du train remorqué;

V la vitesse;

r le coefficient de résistance du train et de la machine correspondant à cette vitesse;

f le coefficient d'adhérence;

On a : $$T = (P + \pi)\, i \times V + (P + \pi)Vr,$$

ou : $$T = (P + \pi)V(i + r),$$

d'où $$P + \pi = \frac{T}{V(i + r)},$$

et $$\frac{P}{\pi} = \frac{T}{V\pi(i + r)} - 1,$$

pour $$P = \pi;\ i = \frac{T}{2V\pi} - r.$$

(1) Couche, tome II, livre III, page 555.

Limite variable pour chaque vitesse ; mais ne dépendant que du rapport $\frac{T}{\pi}$ c'est-à-dire du poids par cheval-vapeur disponible: de la légèreté spécifique de l'appareil moteur.

C'est ainsi que l'emploi des locomotives compound a permis à notre éminent collègue M. Mallet d'aborder des pentes plus raides sur les voies ferrées.

Cette limite dépendant de la vitesse et de la légèreté spécifique du moteur, s'applique aux machines à adhérence comme aux machines à crémaillère; elle est générale pour tous les locomoteurs se touant eux-mêmes par leur propre force.

Mais cette limite étant la seule applicable aux machines à crémaillère, on peut aller jusqu'à cette limite et par conséquent en diminuant la vitesse V, le travail T restant fixe, l'effort de traction d'une machine à crémaillère peut être augmenté au détriment de la vitesse; pour les machines à adhérence, au contraire, au delà d'une certaine limite on ne gagne rien à réduire la vitesse, parce que l'on est limité non plus seulement par la condition de légèreté spécifique, mais surtout par la nécessité de ne pas exposer la machine à patiner condition qui se traduit par l'inégalité $f\pi > \frac{T}{V}$.

Ainsi, en réduisant la vitesse, la force de traction des machines à crémaillère n'est limitée que par leur légèreté spécifique, tandis qu'en sus de cette condition les machines à adhérence ont leur effort de traction limité par le patinage.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs des charges traînées en service courant par des locomotives à adhérence de divers types.

Comme nous l'avons dit plus haut, en réduisant la vitesse sur les lignes à adhérence, on ne gagne rien au delà d'une certaine limite, parce que l'adhérence fait défaut; sur les lignes à crémaillère, au contraire, en réduisant la vitesse on remorque des charges plus fortes et l'on aborde des rampes plus raides.

C'est ainsi que, par exemple, les machines à crémaillère du chemin de fer du Harz, pesant 55 t en ordre de marche, remorquent 125 t ou 2,28 fois leur poids en rampe de 58 mm, à la vitesse de 12 km à l'heure. L'intérêt des chemins de fer à crémaillère ne se manifeste par conséquent que pour les vitesses inférieures à 15 km à l'heure ; jusque-là la simple adhérence suffit parfaitement. Pour les chemins de fer où la locomotive à

vapeur est employée, la limite des pentes des lignes à adhérence semble être entre 45 et 50 mm ; au delà, il faut recourir à la crémaillère.

DÉSIGNATION DES MACHINES	DÉCLIVITÉ MAXIMA	VITESSE EN KILOMÈTRES à l'heure	POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER en ordre de marche π	CHARGE remorquée P	RAPPORT $\frac{P}{\pi}$
	Millim.		Kilogr.	Tonnes	
Compagnie P.-O. (Clermont-Volvic).	25	25	71,530	180	2,5
Série 1124-1258, 8 roues accouplées. .	25	25	60,600	130	2,1
Série 1566-1605, 6 roues accouplées. .	»	»	»	»	»
Murat à Aurillac, 8 roues accouplées .	30	12	68,220	126	1,85
Midi.					
8 roues accouplées.	33	12 à 15	99,800	100	2,0
Haute-Italie.					
Bologne à Pistoia, 6 roues accouplées .	25	20	51	116	2,2
Madrid-Saragosse-Alicante.					
Mérida-Séville, Tocino-Pedroso, série 501-546, 8 roues accouplées	27,7	15	70,080	144	2,05
Machine-tender à adhérence totale de Riom-Volvic	36	12	23,000	50	2,2
Landquart-Davos	45	18	40,000	70	1,75

Pour les lignes électriques exploitées par véhicules automobiles on peut aller beaucoup plus loin ; citons la ligne du Fayet à Chamonix avec pentes de 90 mm, le tramway de Longemer à Retournemer comportant des pentes de 95 mm, le tramway de la côte du Havre comportant une pente de 98 mm sur 310 m, les tramways de Boulogne et de Laon qui offrent respectivement des déclivités de 120 et 122 mm.

L'absence de crémaillère sur des lignes à pentes aussi raides nécessite des précautions toutes particulières et des dispositifs spéciaux au point de vue du freinage, on le comprend aisément, en vue de parer à un abaissement toujours possible du coefficient d'adhérence.

La première application sérieuse d'un chemin à crémaillère fut faite en Europe par l'éminent Ingénieur Riggenbach, notre regretté Collègue. Le 2 août 1863 Nicolas Riggenbach pre-

nait un brevet relatif à l'emploi de la crémaillère, mais ce n'est qu'en 1869 que l'application en fut faite au chemin du Rigi ; on sait avec quel succès.

Toutes les dispositions de la voie et des machines du Rigi ont été en effet parfaitement étudiées par Riggenbach et ont fait largement leurs preuves.

En outre, Riggenbach eut l'heureuse fortune de débuter par une ligne de plaisance où les éléments de trafic ne faisaient pas défaut, qui a donné des résultats excellents au point de vue financier, ce qui est toujours fort appréciable.

Nous n'entrerons pas dans la discussion des questions de priorité qui se sont élevées au sujet de l'adaptation de la crémaillère à la traction sur les voies ferrées ; ce qui paraît certain, c'est que, le premier en Europe, Riggenbach a construit et perfectionné les chemins à crémaillère.

Avant de décrire le tracé de quelques lignes à crémaillère, disons que l'on distingue les lignes entièrement à crémaillère et les lignes mixtes. On appelle chemin mixte, une ligne comportant alternativement des sections à adhérence et à crémaillère. La machine passe successivement de l'une à l'autre des sections ; l'entrée et la sortie de la roue dentée aux origines de la crémaillère sont facilitées, comme nous le verrons, par l'emploi d'un tronçon de crémaillère mobile appelé pièce d'entrée.

Nous décrirons succinctement le tracé de quelques chemins à crémaillère ; le cadre du travail nous obligeant à être très bref à cet égard.

CHAPITRE II

Description de tracés de lignes à crémaillère.

Nous commencerons par parler d'une des entreprises les plus audacieuses que les Ingénieurs aient jamais tentées : nous voulons parler du chemin de fer de la Jungfrau.

Nous citons seulement pour mémoire, les lignes du Rigi, de Rorschach-Heiden, du Mont-Pilate, de Snowdon, du Mont-Salève, du Rothorn, d'Aix-les-Bains au Revard, etc.....

Chemin de la Jungfrau.

Le projet exécuté à la Jungfrau est dû à l'initiative de M. Guyer-Zeeler, de Zurich.

Trois demandes de concession avaient été faites antérieurement.

Deux projets furent présentés en 1889; l'un, par M. Kœchlin, l'Ingénieur qui a pris une part si importante à la construction de la Tour Eiffel, partait de Lauterbrunnen et arrivait au sommet de la Junfrau par un tunnel de 5460 m, la rampe maxima était de 59 °/₀; la hauteur gravie était de 3175 m; la traction prévue était la traction funiculaire.

Un second projet présenté par M. Trautweiler, l'Ingénieur du Gothard, avait son origine à 3 km au-dessus de Lauterbrunnen; la ligne, longue de 6500 m, comportait quatre tunnels successifs et des déclivités de 98 °/₀; la traction prévue était également la traction funiculaire.

Une troisième demande fut faite aussi par le colonel Locher, le constructeur du chemin du Mont-Pilate. Son projet prévoyait deux tunnels circulaires parallèles formant des tubes pneumatiques; dans l'intérieur de ces tubes, les voitures, munies d'un piston glissant sur les parois du tunnel, auraient été poussées ou aspirées par pression d'air comme les cylindres de la poste pneumatique.

Ces trois projets avaient l'inconvénient de mal se prêter à des arrêts intermédiaires pour jouir des divers points de vue constituant le principal attrait du voyage.

Le projet exécuté, que montre la figure 1, part de la station de la Petite Scheidegg à l'altitude de 2064 m, sur la ligne de Grindelwald à Lauterbrunnen; la longueur du tracé sera d'environ 12 km. De la station de la Scheidegg, la ligne monte à l'Eiger Gletscher, puis va contourner l'énorme massif de l'Eiger, se replie, et passant vers le Mönch, se dirige vers le sommet de la Jungfrau. L'avantage de ce tracé, plus long de beaucoup que les précédents, est de réduire les déclivités à 250 mm et d'offrir aux touristes des vues incomparables et variées sur les deux versants de la montagne.

Les stations intermédiaires, ouvertes actuellement à l'exploitation, sont celles de Eiger Gletscher (2323 m), Rothstockwand 2530), Eigerwand (2867), Eismer (3156); au delà de la sta-

tion d'Eiger Gletscher, la ligne entre dans un tunnel qui se continue sur 10 km environ jusqu'au sommet de la Jungfrau à la cote de 4166 m.

La largeur de la voie est de 1 m, le rayon minimum des courbes de 100 m ; la voie a été étudiée par M. Strub, qui a fait une belle application de son système de crémaillère. La traction est faite par des locomotives électriques poussant un train de deux voitures emmenant 80 personnes. Inutile d'ajouter que la force motrice est empruntée à la houille blanche. Le courant triphasé, produit à l'usine à la tension de 7000 volts, est amené à la station de la Petite Scheidegg, où un transformateur le ramène à 500 volts.

Les dépenses d'établissement ont été évaluées à 10 millions, soit 840000 f par kilomètre.

En 1902, alors que la ligne n'était ouverte que jusqu'au Rothstock, les recettes se sont élevées, pour la longueur de 2882 m et pendant les trois mois d'exploitation, à 160800 f, soit 55000 f par kilomètre, assurant au capital un revenu de 4 %: de tels résultats sont fort encourageants et font bien augurer de l'avenir de la ligne.

Il reste encore actuellement, pour terminer la ligne, à franchir un kilomètre en hauteur.

L'ascension complète durera trois heures et coûtera 50 f par personne aller et retour.

La station de la Jungfrau (4166 m) est à 73 m au-dessous du sommet ; de là, un ascenseur élèvera les touristes jusqu'au sommet.

On comprendra sans peine qu'à cette altitude les travaux de construction ont donné lieu à des difficultés multiples, non seulement pour leur exécution, mais aussi pour l'approvisionnement des ouvriers et leur installation. On a dû prévoir jusqu'à une boulangerie à proximité des chantiers, les communications étant interrompues l'hiver avec la vallée.

En terminant, souhaitons bonne réussite à l'œuvre véritablement gigantesque conçue et entreprise par les Ingénieurs suisses, qui restera comme un monument impérissable du génie civil et de la hardiesse humaine.

Je devrai encore parler des lignes du Schaffberg, du Gaisberg, du Schnéeberg en Autriche, du chemin du Vésuve en Italie, et de plusieurs autres encore, mais le cadre de cette étude est limité et je dirai seulement quelques mots de la ligne du Gor-

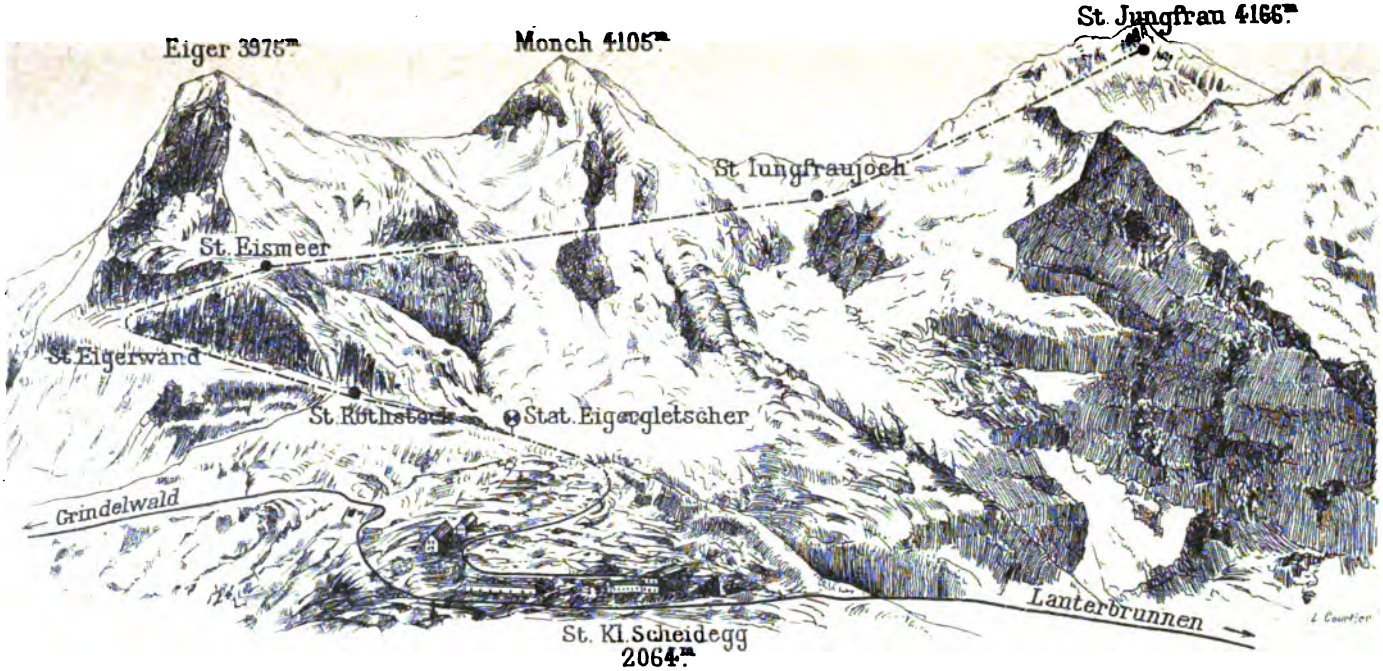

Eiger 3975m
Monch 4105m
St. Jungfrau 4166m
St. Jungfraujoch
St. Eismeer
St. Eigerwand
St. Ruthsteck
Stat. Eigergletscher
Grindelwald
Lauterbrunnen
St. Kl. Scheidegg
2064m

FIG. 1.

nergratt, qui depuis 1898 a atteint l'altitude de 3 020 m, la plus haute en Europe ; elle n'est dépassée que depuis l'an dernier par la ligne de la Jungfrau ; nous disons en Europe, car en Amérique le chemin à crémaillère de Manitou au Pikes-Peak atteint l'altitude de 4 020 m.

Gornergrat.

La ligne du Gornergrat part de la station de Zermatt à l'extrémité de la ligne à crémaillère de Viège-Zermatt dont il sera parlé plus loin. Elle est à voie de 1 m ; le rayon minimum des courbes est de 80 m, les pentes maxima sont de 20 mm ; la hauteur gravie est de 1 600 m.

Le tracé, assez sinueux en plan, a exigé la construction de deux ouvrages d'art et de cinq tunnels de faible longueur.

La ligne est à traction électrique à courants triphasés ; les locomotives, du poids de 10,5 t, alimentées par du courant à 510 volts, poussent deux voitures, l'une ouverte, l'autre fermée, à la vitesse de 7 km à l'heure.

Avec les arrêts aux trois stations intermédiaires, la durée du trajet est d'une heure et demie.

La construction à forfait de la ligne fut concédée à MM. Haag et Greulich pour la somme de 3 millions de francs, compris le matériel roulant et les installations électriques ; les travaux, commencés en 1896, furent interrompus par les intempéries, et la ligne ne fut terminée qu'en 1898.

Il est intéressant de noter que jusqu'à l'altitude 2 700 m aucun cas de mal de montagne n'avait été constaté chez les ouvriers, pour la plupart Italiens ; au-dessus de cette altitude, un certain nombre de cas se manifestèrent ; les phénomènes morbides disparaissaient d'ailleurs complètement au bout d'un séjour de deux ou trois jours dans la vallée de Zermatt.

Nous allons maintenant nous occuper de la seconde catégorie des chemins de fer à crémaillère comportant alternativement des sections à crémaillère et à adhérence ; ce sont les chemins mixtes.

Venues après les chemins entièrement à crémaillère, les lignes mixtes se sont répandues rapidement.

L'une des lignes les plus importantes et les plus anciennes est celle de Blankenbourg à Tanne dans le Harz, établie à voie normale et longue de 30,5 km. Elle dessert un pays minier où

se trouvent des hauts fourneaux et des carrières; elle est ouverte à tous les transports G. V. et P. V. depuis l'année 1885. Les déclivités maxima sont de 60 mm. dans les sections à crémaillère, de 25 mm en adhérence; le rayon minimum des courbes est de 200 m.

Le prix de l'établissement est de 180 700 f par kilomètre, y compris le matériel roulant; la ligne est à une voie. La crémaillère adoptée est du type Abt à 3 lames.

Après avoir cité seulement la ligne du Höllenthal, longue de

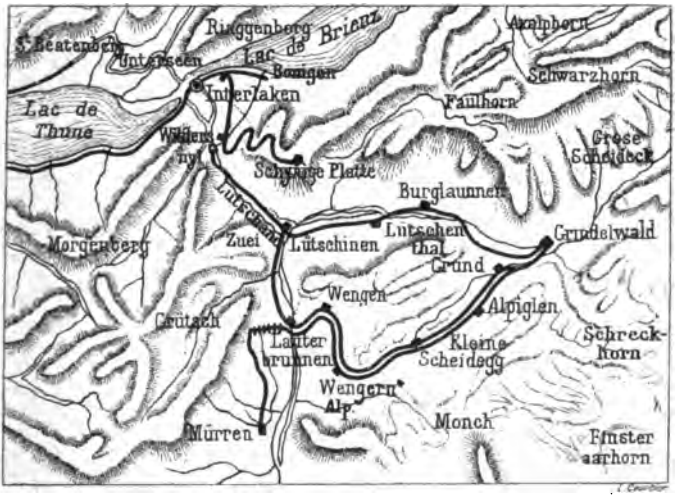


FIG. 2.

35 km, ligne à voie normale, celle de Langres, la ligne du Brünig reliant Brienz au lac des Quatre-Cantons, et celle de Viège-Zermatt, nous décrirons succinctement les lignes de l'Oberland Bernois.

L'ensemble des chemins à crémaillère de l'Oberland Bernois est représenté par la figure 2.

OBERLAND BERNOIS.

L'étude de ces chemins remonte à 1873; cependant c'est seulement en 1886 que fut donnée la concession d'un chemin à voie étroite de Bönigen (570) sur le lac de Brienz, à l'est d'Interlaken, à Lauterbrunnen (799); puis en 1887, le prolongement de Zweilütschinen (655) au Grindelwald (1038) fut concédé. Deux

lignes furent construites vers Grindelwald, la plus courte par Burglaunen, l'autre par Lauterbrunnen et la Petite-Scheidegg. Entre Bönigen et Zweilütschinen se trouve la station de Vilderswyl, d'où part une ligne à crémaillère montant à la Schynige-Platte (1 970); de Lauterbrunnen part un funiculaire montant à Grütsch (1 490), origine d'un chemin de fer électrique montant à Mürren (1 642). Nous rappelons que c'est de la station de la Petite-Scheidegg que part le chemin de la Jungfrau.

La figure 2 montre en plan l'ensemble de ces lignes.

La ligne est à voie de 1 m; les déclivités maxima sont de 120 mm, le rayon minimum des courbes de 120 m. Les locomotives à vapeur, du poids de 28 t. sont à quatre cylindres: la crémaillère est du type Riggenbach. Les frais de construction pour 23 km se sont élevés à 3 188 000 f, soit 136 400 f par kilomètre.

On compte chaque année 190 000 voyageurs et 11 000 t de marchandises transportés, produisant une recette annuelle d'environ 400 000 f, dont 343 750 f ou 86 0 0 pour les voyageurs.

Les chemins de fer mixtes, surtout ceux du système Abt, se sont successivement développés dans les divers pays; en 1891, s'ouvrent à l'exploitation, en Grèce, le chemin de Diakophto-Kalavrita; en Bosnie, celui de Rama-Sarajevo; en 1892, au Japon, le chemin d'Usuipass; en 1894, celui de Beyrouth-Damas, en Asie-Mineure; en 1896, celui de Mount-Lyell; en 1898, la ligne du Nilgiri aux Indes Anglaises; il serait trop long d'énumérer ici toutes les lignes construites.

De l'examen de ces lignes, il résulte :

1° Que la crémaillère n'est pas utilisée au-dessous des déclivités de 50 mm;

2° Que la pente maxima abordée est celle de 480 mm au Pilate;

3° Quant aux rayons des courbes, dans les sections à crémaillère ils ne s'abaissent pas au-dessous de 100 m avec la voie de 1 m, à la seule exception du chemin de fer routier de Saint-Gall-Gais dans le canton d'Appenzel, en Suisse, où l'on a admis en crémaillère des rayons de 30 m.

CHAPITRE III

Voie et crémaillère.

La voie courante, en ce qui concerne les rails de roulement, n'offre pas de particularités spéciales sur les chemins à crémaillère; les traverses doivent, en plus des rails de roulement, recevoir au milieu la crémaillère, soit directement, soit, le plus généralement, au moyen de coussinets ou supports spéciaux.

La particularité à signaler pour la voie des chemins à crémaillère, consiste dans les précautions prises pour résister au glissement longitudinal. Au Vitznau-Rigi, par exemple, la crémaillère est poussée en sens inverse de la marche par une force de 6 t; on comprend, dès lors, combien il importe de s'opposer à ce glissement longitudinal.

Les moyens employés consistent généralement à relier les traverses par deux cours de moises courant parallèlement aux rails et fixées symétriquement de part et d'autre de l'axe. Au lieu de moises on emploie actuellement des fers U posés à plat et tirefonnés sur les traverses. Avec les traverses métalliques, dont la section en U renversé pénètre dans le ballast, la nécessité de relier les traverses dans le sens longitudinal est moins pressante.

Lorsque la pente est raide il faut, en outre, de distance en distance, faire buter la traverse contre un arrêt fixe solidement implanté dans la plate-forme.

Au chemin de Beyrouth-Damas, par exemple, dans les pentes de 70 mm les traverses métalliques ne sont pas reliées les unes aux autres, mais de 60 en 60 m la traverse bute à l'aval contre un solide bloc de béton fondé sur le rocher; au Pilate, la pente de 480 mm a nécessité l'emploi d'une voie entièrement maçonnée et solidement ancrée dans le massif de maçonnerie.

Remarquons, en passant, que l'emploi de la traction électrique, permettant l'emploi de moteurs plus légers, a l'avantage de diminuer la poussée longitudinale.

Effort supporté par la crémaillère.

Cette poussée peut se calculer ainsi :

Soit i la pente de la voie,
P le poids total du train ;
V sa vitesse ;
L le parcours effectué pendant la période de serrage des freins jusqu'à l'arrêt. Au moment du serrage des freins, la force sollicitant le train est :

$$P \sin i + \frac{PV^2}{2gL}.$$

Soit F la force destinée à annuler la force vive, elle communiquerait sur une longueur L une vitesse V à la masse $\frac{P}{G}$, soit γ son accélération : $V = \gamma t$ et $L = \frac{1}{2}\gamma t^2$, d'où : $\gamma = \frac{V^2}{2L}$;

donc : $$\frac{F}{P} = \frac{\frac{V^2}{2L}}{g} \text{ et } F = \frac{V^2 P}{2gL} ;$$

la pression totale sur la crémaillère sera donc :

$$Q = \frac{PV^2}{2gL} + P \sin i.$$

Appliquons au Vitznau-Rigi :

$$V = 2 \text{ m} ; P = 20\,000 \text{ kg} ; \sin i = \operatorname{tg} i = \frac{1}{4}.$$

Si l'arrêt doit s'effectuer sur 10 m :

$$Q = \frac{20\,000 \times (2)^2}{2 \times 9{,}8 \times 10} + \frac{20\,000}{4} = \frac{4\,000}{9{,}8} + 5\,000.$$

$$Q = 400 + 5\,000 ;$$

si, au lieu de 2 m, V = 3, m le terme dû à la force vive passe de 400 à 900 kg ; on voit par là la nécessité d'éviter toute accélération.

Nous examinerons maintenant les divers types de crémaillère usités :

La crémaillère Riggenbach ;

La crémaillère Bessinger et Klose dérivée de la crémaillère Riggenbach;

La crémaillère à lame Abt;

La crémaillère Strub;

Et la crémaillère Locher.

Crémaillère Riggenbach.

A proprement parler cette crémaillère est une échelle couchée à plat dans l'axe de la voie : elle est formée de deux fers à U dans l'âme verticale desquels sont rivés à froid les échelons ou barreaux formés de fers à section trapézoïdale. La section

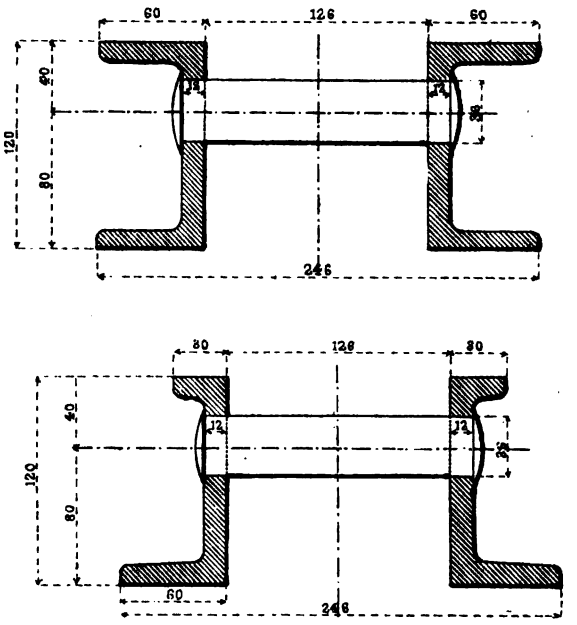


Fig. 3.

découpée dans les montants est nécessairement trapézoïdale aussi, ce qui empêche toute rotation des barreaux sous la pression de la roue dentée.

Le pas de la crémaillère est généralement de 100 mm; l'angle que forme la face de la dent avec le plan de la voie est de 60 degrés.

Deux types principaux de crémaillères sont en usage; dans l'un les ailes inférieures et supérieures du fer à U des montants

verticaux ont la même largeur; dans l'autre, l'aile supérieure est plus étroite comme l'indiquent les croquis de la figure 3. La largeur du vide entre les montants varie de 100 à 140 mm; l'épaisseur de la roue dentée variant de 60 à 100 mm il reste de chaque côté de la roue un jeu de 20 mm environ.

La hauteur du trapèze des échelons varie de 36 à 46 mm; la petite base de 29 à 36 mm, la grande base de 54 à 95 mm; les arêtes supérieures des échelons sont arrondies.

Pour le type appliqué à Langres, la section des échelons est $\frac{54 + 36}{2} \times 36$, l'angle de la face de la dent avec les bases du trapèze est de 61° 11′ 20″, le diamètre primitif de la dent est de 1 050 mm.

Les dents de la roue sont tracées par développantes de cercle: ce qui offre cet avantage que la distance de l'axe de la roue à la ligne primitive de la crémaillère peut varier légèrement sans inconvénient pour l'engrènement.

Le tracé est tel qu'il y a toujours deux dents de la roue en contact avec la crémaillère.

Pour une ligne entièrement à crémaillère, le rayon du cercle primitif de la roue dentée est égal au rayon du cercle de roulement des roues porteuses; la ligne primitive de la crémaillère doit être au niveau des rails.

Sur les lignes mixtes, il faut que dans les sections sans crémaillère, la roue dentée ne vienne pas toucher le sol. La roue dentée est alors portée par un arbre spécial et la crémaillère, surélevée, repose sur des coussinets.

On remarquera que sous l'action de la pression de la roue dentée, le dernier échelon contigu au joint d'aval au bas de chaque tronçon tend à cisailler le métal des montants verticaux.

Pour parer à cet effet, le dernier échelon d'aval est plus éloigné du joint que le premier échelon d'amont du joint.

Avec la division de 100 mm habituellement adoptée par Riggenbach, on prend ordinairement l'axe de l'échelon d'aval à 55 mm du joint, celui d'amont à 43 mm, il reste pour le joint $100 - (55 + 43) = 2$ mm, jeu suffisant pour des tronçons de crémaillère de 3 m à 3,50 m de largeur.

En effet, le coefficient de dilatation du fer est de 0,000014 par degré centigrade; soit pour 50 degrés de variation de température, une dilatation de 0,0007, qui représente pour un tronçon de 3 m de longueur une dilatation de 2 mm. Cette disposition

nécessaire a pour inconvénient, par sa dissymétrie, de s'opposer au retournement de la crémaillère bout pour bout.

Le métal des montants de la crémaillère est en fer ou en acier pas trop dur, présentant une résistance de 40 à 45 kg par millimètre carré avec un allongement de 20 à 30 0/0; le métal ne doit pas être trop dur pour permettre le perçage des trous des échelons dans les montants.

Primitivement la crémaillère était fixée directement sur les traverses de la voie ; et lorsqu'il était nécessaire de la surélever on la posait sur deux longrines; mais cette disposition n'a pas donné de bons résultats et l'emploi de coussinets a paru préférable. L'emploi des traverses métalliques a permis, en outre, une précision plus grande et plus de solidité.

En outre, le surhaussement est indispensable sur les lignes à exploitation continue, pour éviter les obstructions causées par la neige qui se tasse entre les échelons de la crémaillère et s'oppose au passage de la roue dentée; le fait s'est produit cet hiver au chemin à crémaillère de Langres.

Au lieu de coussinet on emploie parfois une crémaillère surélevée comme l'indique la figure 4, c'est la solution adoptée au Brünig où les montants de la crémaillère ont 220 mm de haut, tandis qu'ils n'ont que 120 mm au Rigi. La solution du Brünig est simple et commode, la mise en place de la crémaillère est facile, mais elle conduit à alourdir notablement la crémaillère; le type du Brünig, montants et échelons, pèse 78 kg le mètre linéaire, celui du Rigi et de Langres 50, celui de Padang-Sumatra 57 kg. Au joint, la crémaillère porte sur un coussinet spécial, ou si elle est surélevée, le joint en porte à faux est renforcé par des fers d'angle boulonnés sous la semelle inférieure de la crémaillère. Ces fers d'angle viennent buter contre la traverse de joint de façon à s'opposer au glissement longitudinal.

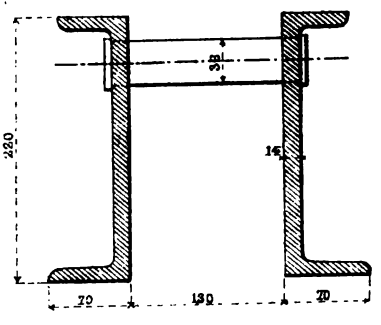


FIG. 4.

A Langres, où la crémaillère est supportée au joint par des coussinets spéciaux, on a rivé sous la crémaillère des cornières qui viennent buter contre ce coussinet.

Avant de quitter ce genre de crémaillère, citons le type des

tramways de Trait-Planche à Montreux (Suisse), indiqué par la figure 5. La crémaillère n'est plus dans l'axe; mais l'un des montants est formé par l'un des rails de roulement lui-même; un autre rail, placé à 30 mm du premier, court parallèlement; les échelons relient ces deux rails; la roue dentée placée sur le côté de la machine passe dans cette ornière de 30 mm, que les roues des véhicules ordinaires franchissent comme un passage à niveau de voie ferrée. L'ornière formée par les deux rails de la crémaillère devant être maintenue libre, les poussières et détritus de la chaussée qui tombent dans ce canal sont recueillis dans une sorte de gouttière en tôle placée sous la crémaillère, formant comme un caniveau régnant sur toute la longueur de la crémaillère; les détritus sont évacués par un courant d'eau lancé dans ce caniveau. L'espacement des traverses de la crémaillère varie généralement de 0,750 m à 1 m.

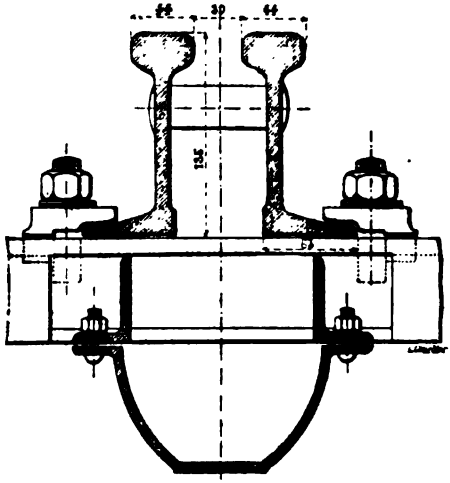


Fig. 5.

Crémaillère Bissinger et Klose.

Au chemin de fer du Höltenthal on a adopté une modification de la crémaillère Riggenbach due à MM. Bissinger et Klose.

Les têtes des échelons ne sont plus rivées sur les montants mais passent librement dans le trou percé dans le fer du montant. Les barreaux reposent en dessous sur une saillie régnant intérieurement sur toute la longueur du montant, de façon à rendre impossible toute rotation du barreau; un échelon sur quatre présente une tête filetée faisant saillie à l'extérieur sur le montant; un écrou permet le serrage, de façon à assurer la rigidité du système.

En outre, au joint de deux tronçons, quatre échelons portent également des boulons qui serrent des éclisses latérales en fer

plat contre les montants verticaux des fers à U, ce qui consolide le joint et assure la solidarité des deux fers à U. Cette crémaillère est représentée en coupes et élévation par la figure 6.

Ces éclisses latérales évitent la tendance au cisaillement au-dessous du dernier échelon d'aval ; ce qui permet de faire une crémaillère symétrique pouvant se retourner bout pour bout. Les crémaillère repose sur des coussinets en fonte.

L'avantage essentiel du système est que l'on peut changer un échelon avarié sans avoir à dériver tous les autres ; de plus les trous pour le passage des échelons dans les fers U peuvent être

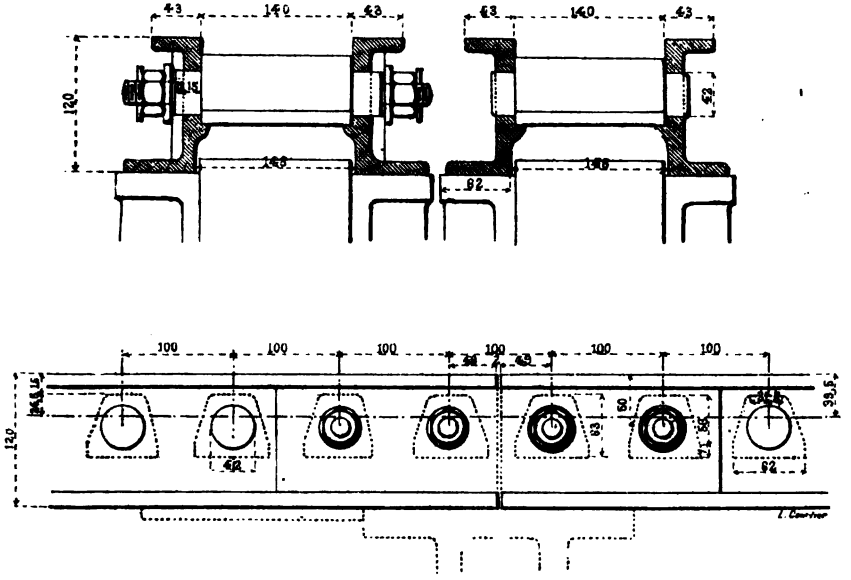


Fig. 6.

faits à la machine à percer, ce qui permet plus d'exactitude que le perçage à l'emporte-pièce qui doit forcément être employé pour la crémaillère Riggenbach, à cause de la forme trapézoïdale des dents. La crémaillère du Höllenthal pèse 101 kg le mètre linéaire avec les coussinets et éclisses.

Aux chemins de Saint-Gall-Gaïs en Suisse, d'Honau-Lichtenstein et Freudenstadt-Kloster-Reichenbach en Würtemberg, on a employé une disposition différant peu de la précédente, due à M. Klose.

Dans cette disposition la crémaillère est portée par des coussinets élevés permettant le facile dégagement de la neige.

Les têtes des dents ne sont pas boulonnées comme dans le système Klose, mais pour assurer la solidarité, quelques échelons seulement sont rivés ; à signaler la précaution prise d'intercaler une rondelle entre la tête rivée et le fer du montant vertical, de façon à pouvoir refaire la rivure en cas de besoin. La crémaillère de Saint-Gall-Gaïs pèse seule 55 kg le mètre linéaire et 67,5 kg avec ses accessoires.

Le principal défaut de la crémaillère à échelons, outre le jeu que prennent les échelons, consiste dans la marche un peu saccadée des machines sur ces crémaillères, surtout si la vitesse doit dépasser 8 km à l'heure.

En outre, la construction de ces crémaillères est compliquée à cause du perçage des montants. C'est pour remédier à ces divers inconvénients que M. Abt, collaborateur de M. Riggenbach imagina le système des crémaillères à lames que nous allons décrire et qui s'est promptement répandu.

Crémaillère Abt.

C'est en 1882 que notre Collègue M. Roman Abt prit un brevet pour son système de crémaillère qui fut appliqué peu de temps après à l'importante ligne du Harz inaugurée en 1885. Depuis lors le système Abt s'est répandu dans tous les pays et l'on comptait, en 1899, 40 lignes où ce système était appliqué, représentant 800 km de développement dont 290 km en crémaillères, sur lesquels circulaient 170 machines à vapeur ou électriques. La crémaillère Abt, représentée par la figure 7, est formée suivant le cas d'une, deux ou trois lames d'acier placées verticalement et équidistantes ; dans chacune de ces lames sont découpées des dents dont les vides et les pleins sont croisés. S'il y a deux lames, les axes des dents en projection verticale sont décalées d'un demi-pas ; s'il y a trois lames, d'un tiers de pas.

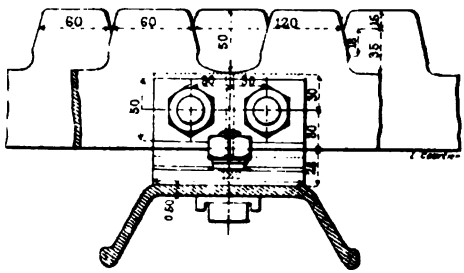


Fig. 7.

Les dents sont tracées dans le système des développantes de cercle ; il y a par suite, toujours deux dents de la roue motrice en

prise sur chaque lame, soit quatre ou six s'il y a deux ou trois lames. Un pareil système permet donc un effort de traction plus considérable et assure en outre un mouvement plus doux que le système à échelons.

Les lames sont boulonnées de distance en distance sur des coussinets en fonte, ou mieux en acier fondu, à large base, fixés sur les traverses par des tirefonds ou des boulons suivant qu'il s'agit de traverses en bois ou de traverses métalliques, ces dernières étant plus généralement employées aujourd'hui ; la figure 8 indique cette disposition. La longueur des lames varie suivant qu'il s'agit de crémaillère à deux ou trois lames.

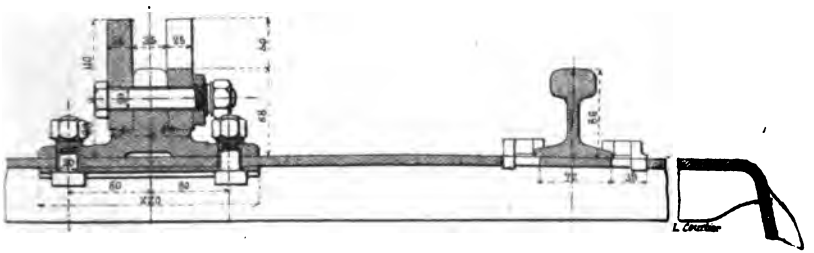


Fig. 8.

La longueur d'une lame est un multiple du pas, plus le jeu de la dilatation ; pour les crémaillères à deux lames, chaque lame compte 15 dents : soit pour un pas de 120 mm une longueur de de $15 \times 120 = 1\,800$ mm, dont il faut déduire 4 mm pour le jeu de la dilatation, reste net une longueur de 1 799 mm ; pour les crémaillères à trois lames comptant 22 dents, la longueur est de $120 \times 22 - 4 = 2\,636$ mm.

Les dimensions des dents sont généralement les suivantes : hauteur 50 mm, distance du dessus de la dent à la ligne primitive 15 mm, épaisseur 20 mm, hauteur 110 mm ; l'épaisseur varie de 15 mm au Harz à 32 mm au Pikes-Peak. En général on limite 1 300 kg l'effort à supporter par chaque dent : pour une largeur de dent de 20 mm, cela représente 65 kg par millimètre de largeur de dent ; c'est à peu près le même chiffre que pour l'échelon Riggenbach.

Les coussinets de support sont distants de 900 mm environ. Le poids d'une lame est en moyenne de 15 kg le mètre linéaire. Les lames sont faites en acier Thomas ou Martin Siemens présentant une résistance de 48 à 50 kg par millimètre carré et un allongement de 18 à 20 0/0 ; les dents sont découpés à chaud

dans les lames. Les lames sont ensuite réunies par paquets, et on finit les dents à l'aide de la machine à raboter. Pour le chemin du Nilgiri et celui de Snowdon, on a construit une machine spéciale découpant les dents de ces lames d'acier.

Chaque lame est fixée sur les coussinets par deux boulons, soit par lame six boulons de 20 mm, disposition suffisante pour s'opposer à tout glissement longitudinal ; mais il est indispensable de veiller régulièrement au serrage des boulons. Aux extrémités de la lame les trous percés pour le passage des boulons sont ovalisés de façon à laisser le jeu de la dilatation.

Les crémaillères employées sont presques toutes du type à deux lames ; les seuls exemples de types à trois lames sont ceux du chemin du Harz et du chemin d'Usuipass au Japon ; avec ce dernier type, il est plus difficile d'obtenir un contact régulier des dents des roues motrices avec celles des lames de la crémaillère.

La hauteur des coussinets est réglée de telle façon que la tête des dents se trouve pour les lignes mixtes de 55 à 75 mm au-dessus des rails de roulement, pour les lignes entièrement à crémaillère la cote ci-dessus est réduite à 50 mm.

La crémaillère Abt assure aux trains une marche plus rapide, elle permet d'aborder de fortes charges et elle donne aux trains un mouvement plus doux. Ce mouvement est d'autant plus doux que l'on peut ménager une certaine élasticité dans la fixation des roues dentées de la machine sur l'axe moteur, comme nous le décrirons à propos des locomtives Abt.

Il paraît démontré que la crémaillère Abt peut répondre aux exigences d'un trafic plus important que la crémaillère Riggenbach.

Crémaillère Strub.

Cette crémaillère plus récente que les précédentes a été appliquée pour la première fois en 1890 au chemin de fer de la Jungfrau, elle n'est utilisée que pour les lignes entièrement à crémaillère, à l'exclusion des chemins mixtes ; elle a été utilisée successivement en 1902 au chemin de Triest-Opcina (Autriche) en 1902, au Vésuve en 1903, et en 1904 en Suisse au chemin de Martigny-Chatelard, comportant chacun des déclivités de 250 mm.

La crémaillère représentée par la figure 9 est constituée par un rail Vignole à patin élevé, dans le champignon duquel sont découpées les dents.

Les dents ont une forme très particulière cylindro-conique et entre deux dents consécutives, l'âme du rail est creusée de façon à ménager un vide dont le fond affecte une forme cylindrique.

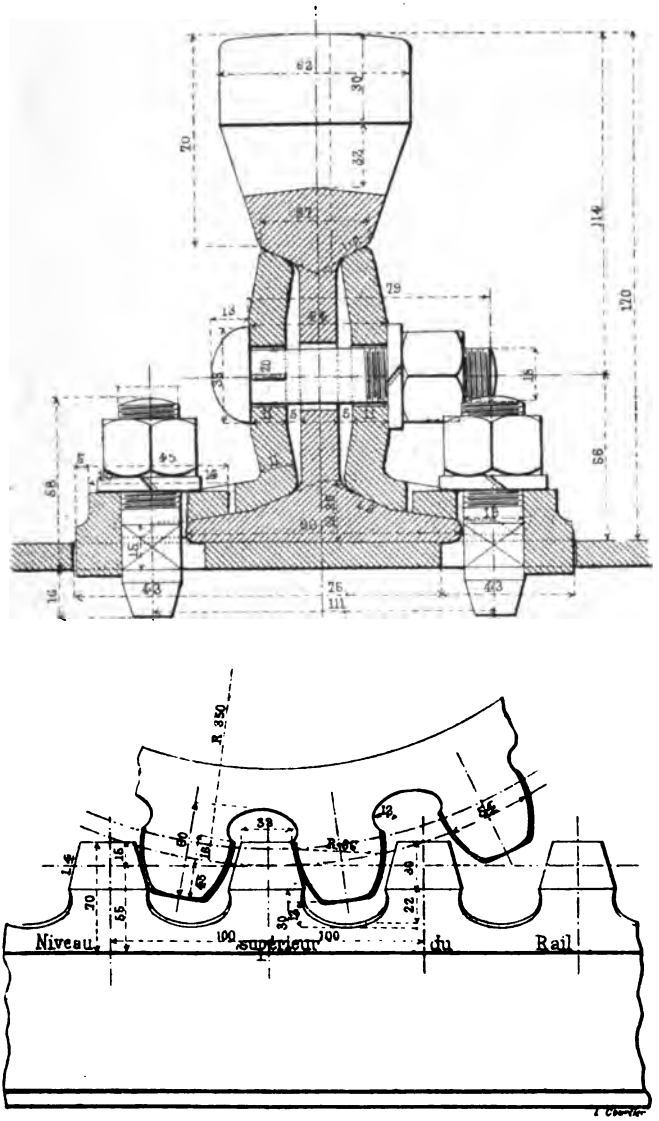


Fig. 9.

La forme du champignon, large de 62 mm, permet l'emploi de larges roues dentées pour des crémaillères légères ; on peut aussi saisir ce champignon par en-dessous, entre deux branches de te-

nailles, constituant ainsi un frein à mâchoires, s'opposant au besoin à la tendance au soulèvement du véhicule. Il est à noter que cette précaution est plus nécessaire avec la crémaillère Strub, parce que dans les types à échelon les montants verticaux s'opposent à un déplacement latéral de la voiture.

Le large patin du rail assure une bonne assiette et l'emploi de fortes éclisses au joint suspendu permet un affleurement parfait des deux tronçons contigus de crémaillère.

En outre, la crémaillère peut être retournée bout pour bout, les deux extrémités étant identiques.

Enfin, par suite de la forme des dents, la neige ne peut gêner le passage de la roue dentée, et elle est facilement expulsée.

Le rail de la crémaillère Strub est fait en acier doux, présentant une résistance à la rupture de 45 kg par millimètre carré avec allongement de 20 0/0.

La crémaillère est fixée sur les traverses par des coussinets ayant la forme de deux sortes de joues en fer embrassant l'âme verticale du rail, et se terminant à la base par des semelles qui appuient sur la face supérieure du patin du rail ; des boulons traversent les deux joues et l'âme du rail, et assurent la continuité de la crémaillère, tandis que les semelles des coussinets sont boulonnées sur les traverses et y appliquent par pression le patin du rail.

Les dimensions habituelles de la crémaillère Strub sont les suivantes :

Pas de la denture 80 ou 100 mm ; hauteur des dents 30 mm ;
Inclinaison des faces des dents 1/4 ; largeur 82 mm ;
Largeur de la roue dentée 70 mm ;
Hauteur de la crémaillère 140 à 170 mm ;
Poids de la crémaillère 31 à 34 kg le mètre linéaire.

La crémaillère Strub paraît tout aussi rigide que la crémaillère Riggenbach, ses divers avantages, sa solidité, sa simplicité paraissent devoir lui assurer un prompt développement.

Elle doit être employée pour un chemin projeté au Fleimserthal dans le Tyrol et dans une colonie allemande du Sud-Est de l'Afrique.

Crémaillère Locher.

Ce type ne compte qu'une seule application, celle du Mont Pilate ; mais elle mérite d'être citée, car c'est le seul cas d'un chemin à crémaillère en déclivité de 480 mm.

Les essais faits au début des études du chemin du Pilate, montrèrent que sur une pareille pente la roue dentée sort facilement des dents d'une crémaillère des types précédents.

Soit, en effet, F la force parallèle à la voie sollicitant la roue dentée, i l'angle de la voie avec l'horizon. La force F, peut se décomposer en deux, l'une horizontale, l'autre verticale, F sin i

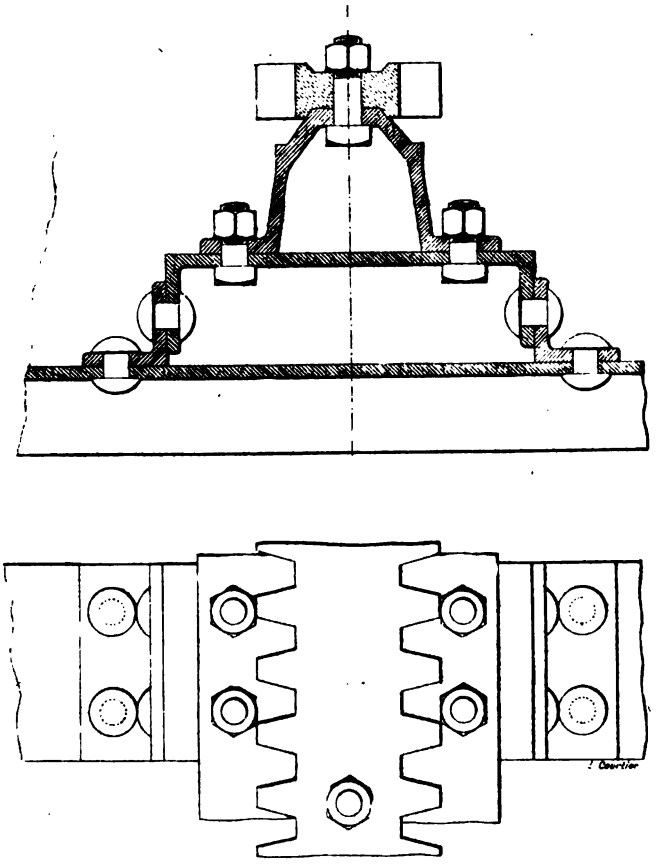


Fig. 10.

tendant à soulever la roue; pour $i = 30$ degrés, pente de 1/2 c'est-à-dire à peu près celle du Mont Pilate, F sin $i = 1/2$ F; on comprend que dans ces conditions la stabilité de la roue n'est plus assurée.

Pour remédier à cet inconvénient M. le colonel Locher prit des lames taillées en forme de crémaillère double, et les disposa dos à dos horizontalement les dents tournées vers l'extérieur; deux

roues dentées placées horizontalement engrènent chacune avec les dents d'une crémaillère ; ces roues dentées sont disposées symétriquement par rapport à l'axe de la voie, comme le montre la figure 10.

Les barres formant la crémaillère double ont 2398 mm de longueur, 130 mm de largeur et 40 mm d'épaisseur. Les dents ont 28 mm de hauteur dont 13 au-dessus de la ligne primitive ; le pas est de 35,7 mm.

Chaque barre constituant la crémaillère double est supportée par des fers Zorès de 100 mm de hauteur ; ces fers forment une table d'appui continue régnant sur toute la longueur de la crémaillère.

Ce fer Zorès est soutenu lui-même au-dessus des traverses métalliques par une sorte de cloche formée de fers U de 140 mm de longueur ; les bords inférieurs de ces fers Zorès sont boulonnés à des cornières rivées sur les traverses métalliques de la voie.

Des boulons verticaux fixent la barre de la crémaillère double aux fers Zorès. Ces boulons doivent être soigneusement serrés pour éviter qu'ils ne travaillent au cisaillement sous l'action de la poussée des roues motrices.

Les roues dentées ont une épaisseur de 50 mm, de sorte qu'elles font saillie de 5 mm, tant au-dessus qu'au-dessous de la crémaillère. Les traverses supportant les rails de roulement et la crémaillère sont ancrées dans la voie par de forts boulons, scellés dans un massif de maçonnerie, dont la partie supérieure est recouverte de dalles de granit.

Les barres de crémaillère ont 3 m de long, les rails 6 m ; on compte dans une travée huit traverses, les deux traverses du milieu sont distantes de 580 mm ; c'est également la distance des traverses de joint à l'about du rail ; les autres traverses sont distantes de 1,310 m.

La crémaillère est faite d'une barre d'acier Martin d'une résistance de 50 à 60 kg par millimètre carré, dans laquelle les dents sont découpées. Pour les parties en courbe, le rail est incurvé après le découpage des dents dans une barre droite. On remarquera que les deux roues motrices qui enserrent entre elles la crémaillère font le même nombre de tours, car elles sont conduites par un même arbre moteur. Or, dans les courbes, la crémaillère extérieure a un développement quelque peu supérieur à celui de la crémaillère intérieure. Mais la différence est faible,

et dans une courbe de 80 m. de rayon, l'écart avec la division normale n'est que de 0.06 m.

Bien que ce système de crémaillère ait donné d'excellents résultats au Pilate, il ne s'est cependant pas répandu, en réalité parce que ce système n'est intéressant que pour des lignes à pentes extrêmement raides, et que, dans ce cas, le système funiculaire est généralement plus indiqué que le système à crémaillère.

Pièces d'entrée de la crémaillère.

Sur toutes les lignes mixtes, où l'on passe alternativement d'une section à adhérence à une section à crémaillère, on ne peut laisser la roue motrice aborder brusquement la crémaillère, non seulement parce qu'il y aurait choc, mais aussi parce que l'engrènement pourrait ne se produire que très difficilement. Pour éviter ces inconvénients, on dispose, à l'entrée de la section, un tronçon de crémaillère mobile autour d'un axe horizontal, à l'extrémité opposée à l'entrée, et supportée d'autre part par un ou plusieurs ressorts, ainsi que le montre la figure 11. Lorsque la roue dentée aborde cette pièce, celle-ci s'abaisse sous la pression, et comme le pas p' de la pièce d'entrée est plus petit que le pas p de la crémaillère, l'engrènement se produit forcément au bout d'un certain temps; soit en effet n le nombre de dents venues en contact au moment de l'engrènement, a, la distance séparant l'arête d'une dent de la roue dentée de l'arête d'une dent de la crémaillère à l'entrée.

On aura, au moment de l'engrènement :

$$np = a + np',$$

d'où :

$$n = \frac{a}{p - p'};$$

A partir du moment où l'engrènement s'est produit, la roue dentée roule sur une crémaillère d'un pas légèrement inférieur au sien, ce qui produit des glissements.

Cet inconvénient est évité avec les machines à deux mécanismes. La crémaillère des pièces d'entrée est toujours une crémaillère à lames du type Abt; la disposition des pièces d'entrée est due d'ailleurs à cet Ingénieur.

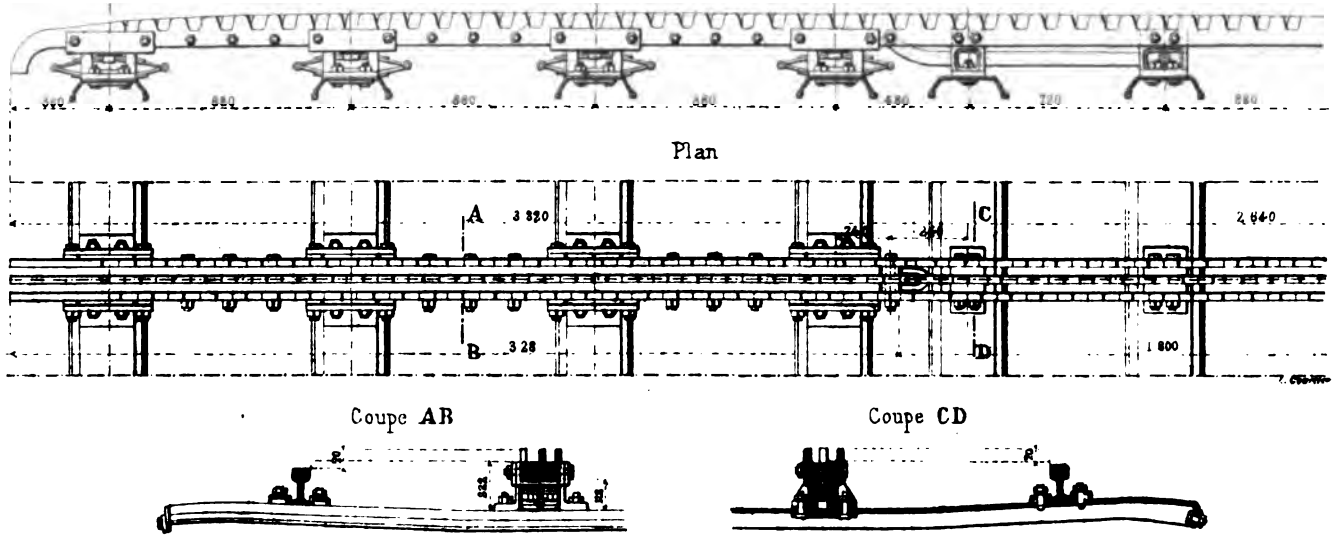


Fig. 11.

Prix de revient de la crémaillère.

Le prix, ou pour parler plus exactement, le surcroît de dépenses d'établissement de la voie courante peut être évalué dans des conditions moyennes à 30 ou 40 f le mètre linéaire.

Au Höllenthal, la crémaillère Abt est revenue à 42,50 f le mètre linéaire. A Langres, la crémaillère seule a coûté 27 f le mètre linéaire.

CHAPITRE IV

Machines. — Matériel roulant. Traction électrique.

Les machines des chemins à crémaillère, qu'il s'agisse de locomotives à vapeur ou de moteurs électriques, peuvent se ranger en quatre classes :

1° *Machines destinées aux chemins entièrement à crémaillère*, se divisant en deux groupes :

(*a*) Machines simples dans lesquelles les roues porteuses n'étant pas actionnées par le moteur, la roue dentée concourt seule à la propulsion.

(*b*) Machines dans lesquelles les roues porteuses concourent à la propulsion concurremment avec la roue dentée.

Dans ce cas, l'effort de traction se partage entre les roues dentées et les roues porteuses, ce qui permet de diminuer la poussée sur la crémaillère en utilisant l'adhérence de la machine. Avec ces machines, si D et D′ sont les diamètres des roues dentées et porteuses, pour une rotation d'un angle $d\alpha$ il faut que $D \times d\alpha = D' \times d\alpha$, si $D \gtrless D'$ il y a glissement.

D'autre part avec les machines de la classe (*a*) l'effort moteur est entièrement supporté par la roue dentée et par conséquent par la crémaillère.

Pour la machine du Rigi dont l'effort de traction est de 6.000 kg et qui pèse 12.500 kg, si l'on compte l'adhérence au $\frac{1}{7}$ les roues porteuses pourraient faire face à un effort de $\frac{12.500}{7} = 1800$ kg, soit 0,33 de l'effort total, ce qui représente, à

la vitesse de 7 kilomètres à l'heure, un travail de 43 chevaux à fournir par la roue dentée seule, qui aurait pu être demandé aux roues porteuses.

La perte de travail due au glissement correspondant à la différence de diamètre des roues porteuses et dentées est assez faible, elle est du même ordre de grandeur que le glissement des roues solidaires sur les files des rails extérieurs et intérieurs en courbe.

2° *Machines destinées aux chemins mixtes*, se divisant également en deux classes :

(*a*) Machines dans lesquelles les roues dentées et les roues motrices sont mues par un seul mécanisme.

(*b*) Machines ayant deux mécanismes distincts, un pour le système à adhérence, l'autre pour le système à crémaillère.

1re Classe.

Machines destinées aux chemins entièrement a crémaillère.

Machines simples : Catégorie (a). Type du Rigi. — La figure 1? montre la machine primitive du Rigi, à chaudière type vertical, portée par quatre roues folles sur les essieux, tandis que la roue dentée motrice est calée sur l'essieu arrière; un arbre intermédiaire, attaqué par les bielles motrices, conduit cet essieu à l'aide d'un pignon et d'une roue dentée. Cette machine était munie du dispositif bien connu maintenant consistant à renverser à la descente la distribution et à utiliser la compression de l'air pour modérer la vitesse. En outre, au milieu de l'essieu d'avant était calée une roue dentée engrenant avec la crémaillère, et de part et d'autre de cette roue, calées sur le même axe, deux poulies de friction pouvaient être enserrées entre deux mâchoires à la volonté du mécanicien : disposition devenue classique aujourd'hui.

Ces machines pesaient 10 t à vide, 12 5 t. en charge, elles remorquaient un train de 9 t à la vitesse de 5 km à l'heure sur la rampe de 250 mm.

En 1884, ces machines ont été remplacées par d'autres à chaudières, du type horizontal.

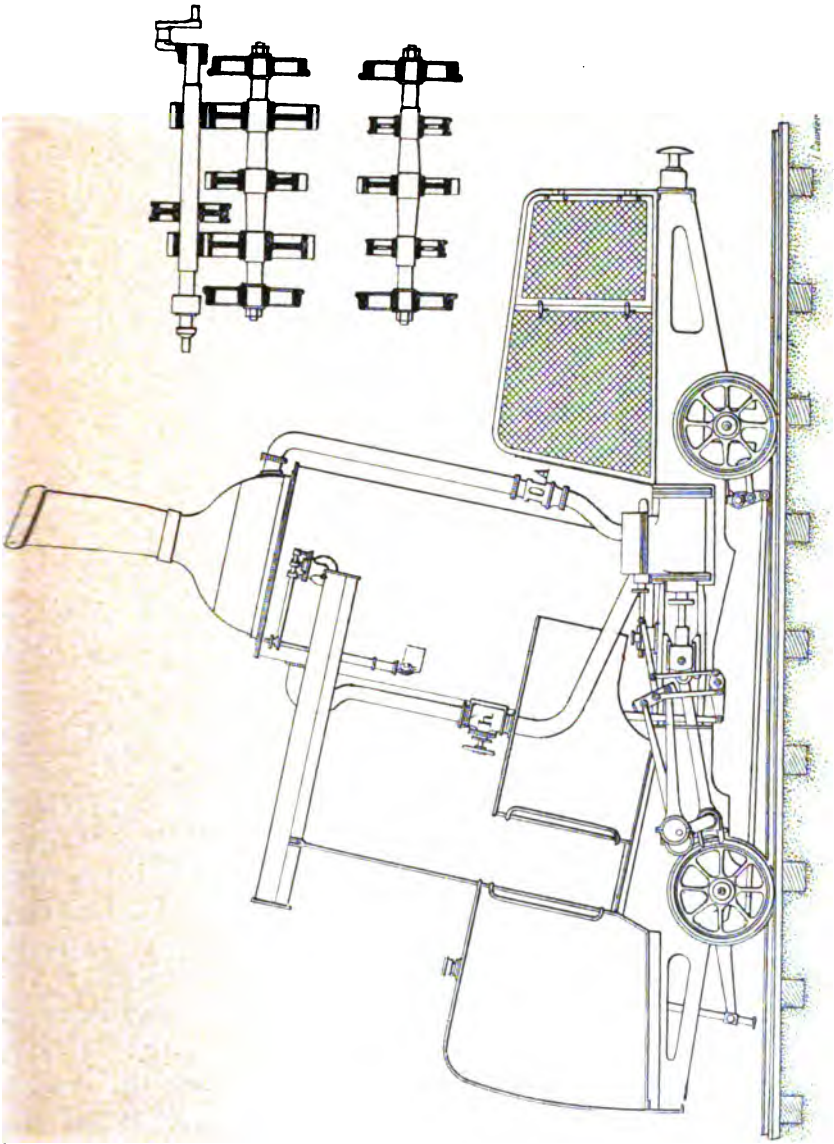


FIG. 12.

Type d'Arth Rigi.

Dans ce type, la roue dentée motrice est calée, non plus sur l'un des deux essieux porteurs, mais sur un arbre spécial, placé à proximité du centre de gravité de la machine.

Cette disposition assure dans tous les cas une bonne répartition de charge sur l'arbre moteur et évite la tendance au soulèvement. En outre, le diamètre de la roue dentée peut être plus grand, ce qui permet d'obtenir un meilleur engrènement et une usure plus régulière de la roue dentée. Les données principales de ce type sont les suivantes :

Diamètre de la roue motrice.	955 à 1050 m m
Empattement.	2,35 à 3 m
Diamètre des cylindres . . .	300 à 320 m m
Course des pistons	5000 m m
Pression à la chaudière . . .	10 à 11 atm
Poids à vide	14 t environ
— en ordre de marche . .	17 t

Ce type de locomotive est employé aux chemins d'Arth Rigi, du Kahlenberg, du Schwabenberg, du Drachenfels, du Gaisberg, de Petropolis ; il ne comporte qu'ne seule roue motrice.

Machines a deux roues dentées motrices.

Catégorie (b). Les locomotives de ce type construites depuis plusieurs années ont deux roues dentées motrices. La machine est alors portée par trois essieux ; l'essieu d'arrière de plus petit diamètre, simplement porteur, est supporté par un Bissel ; les roues dentées sont calées sur les deux essieux d'avant, supportées par les roues porteuses laissées folles sur l'essieu. Le plus ordinairement, l'un des deux essieux portant les roues dentées reçoit l'impulsion du piston par l'intermédiaire d'un balancier, le deuxième essieu est entraîné par le premier à l'aide d'une bielle d'accouplement; la figure 13 montre le schéma de cette disposition.

Nous citerons comme machine de ce type, celle du Schneeberg construite pour voie de 1 m , la ligne comporte des pentes de 200 m m , le rayon minimum des courbes est de 80 m ; la crémaillère est du type Abt à deux lames.

La machine pousse un train pesant 16 t; ses données principales sont les suivantes :

Pression de la chaudière	14 atm
Surface de chauffe	39,8 mq
Diamètre des cylindres	320 mm
Course des pistons.	600 mm
Diamètre roue dentée motrice. . .	573 mm
— porteuses avant . .	706 mm
— » arrière .	520 mm
Empattement	3,17 m
Poids de la machine à vide. . . .	13,8 t
— à charge. . .	16,3 t
Effort de traction	7.200 k

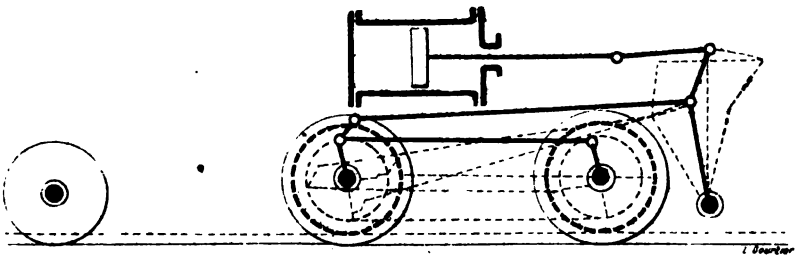


Fig. 13.

Ces machines ont une marche plus régulière que les machines à une seule roue dentée; mais la répartition des charges est plus délicate et le réglage des ressorts de suspension est plus difficile.

Locomotives a trois roues dentées

Ces machines ne sont employées à notre connaissance qu'au chemin de Manitou au Pikes-Peak.

Les deux essieux porteurs sont situés à chaque extrémité de la machine; entre eux se placent les trois roues dentées; deux sont mues par un pignon calé sur l'arbre intermédiaire, la première dans le sens de la marche est accouplée par une bielle avec la seconde.

Ce système ne s'est pas répandu; les machines à trois roues dentées sont plus lourdes et plus chères que les autres, et l'on comprend sans peine que s'il est difficile d'obtenir un engrènement convenable avec deux roues dentées, les difficultés sont bien plus grandes pour trois roues.

Locomotives Électriques.

D'après MM. Blondel et Dubois, la traction électrique sur une ligne à crémaillère remonte à 1887 ; elle fut employée pour franchir une rampe de 60 à 100 millimètres dans les rues de Pittsbourg.

Les avantages de la traction électrique sont les suivants :

1° Faible poids par cheval des moteurs électriques, réduisant le poids mort à la dernière limite.

2° Facilité de transmission du mouvement et de réglage de la vitesse.

3° Faible place occupée par les moteurs électriques.

4° Freinage sûr et énergique.

A moins qu'il ne s'agisse de trains lourds ou d'efforts considérables, il est naturellement tout indiqué de ne pas faire usage de locomotives séparées, mais bien de voitures automobiles: c'est la solution adoptée autant que possible. Nous nous occuperons ici des moteurs actionnant exclusivement les roues dentées; les roues porteuses ne concourant pas à la propulsion.

Les locomoteurs électriques sont actionnés par des courants continus ou alternatifs dont la tension varie de 450 à 750 volts; la ligne électrique est généralement aérienne et les rails de roulement et la crémaillère peuvent être utilisés conjointement comme conducteurs de retour.

Au point de vue de l'installation des moteurs et de la transmission du mouvement de la dynamo à la roue dentée, la difficulté suivante se présente : c'est qu'il faut laisser entre l'arbre du moteur et celui de la roue dentée une distance assez grande pour que cette dernière ne vienne pas choquer l'enveloppe de la dynamo; ce qui oblige à recourir à une double réduction.

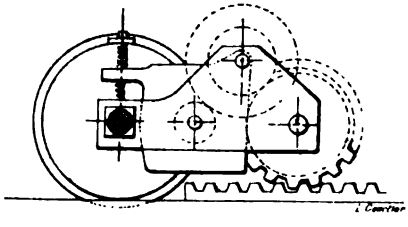


Fig. 14.

A cet effet, l'arbre de la dynamo attaque un faux essieu placé au-dessus de lui et ce faux essieu conduit à son tour l'arbre de la roue dentée placé dans le même plan horizontal que l'arbre de la dynamo; les centres des trois arbres forment ainsi un triangle dont la base

est horizontale. Cette disposition est appliquée comme l'indique la figure 14 aux voitures automobiles du Mont Salève.

On peut aussi, pour gagner de la place, monter le pignon de la crémaillère et la roue dentée sur un arbre creux enfilé sur l'essieu porteur.

Il convient de remarquer que dans tous les cas la roue dentée doit être suspendue plus ou moins directement par l'intermédiaire des ressorts afin d'éviter des ruptures de la dent.

En employant deux moteurs montés chacun sur bogies, on obtient la puissance voulue pour la propulsion des véhicules automobiles.

Pour les locomotives électriques, on place les dynamos au-dessus du châssis en raison de la place occupée par les roues dentées.

Freinage.

Les locomotives électriques sont munies des freins ci-dessous indiqués :

1° Freins à crémaillère, dans lesquels des freins de friction agissent sur des poulies clavetées sur l'axe de la roue dentée ou sur une roue dentée spéciale ;

2° Freins à sabot, agissant sur les roues porteuses.

3° Freins automatiques, agissant dès que la vitesse dépasse un certain maximum. Ces freins sont généralement en connexion avec un commutateur qui coupe le courant dès que la vitesse dépasse le maximum fixé.

L'emploi des moteurs asynchrones donne des moyens extrêmement commodes et sûrs de réglage de la vitesse à la descente. On peut en effet :

1° Laisser les mêmes connexions qu'à la montée et régler par les résistances jusqu'à obtenir la vitesse voulue.

2° Laisser en court-circuit les induits qui travaillent au-dessus du synchronisme et renvoient du courant à l'usine.

La récupération a lieu ainsi automatiquement, dès que la machine atteint une vitesse supérieure de 2 à 3% à celle du synchronisme.

3° Freins électriques.

Nous décrirons à titre d'exemple la locomotive du chemin de la Jungfrau, très analogue à celle de la ligne du Vésuve et du Gornergratt.

Locomotive de la Jungfrau.

La machine du chemin de la Jungfrau porte sur deux essieux distants de 2,30 m. Les roues dentées au nombre de deux engrennent avec une crémaillère Strub, elles sont calées sur un arbre distinct. Un moteur électrique actionne chacune de ces roues par une transmission à double réduction de vitesse. Les roues d'un diamètre de 0,70 m sont distantes de 1,16 m.

Les moteurs électriques asynchrones triphasés de la force de 125 chevaux tournent à 800 tours par minute, en recevant un courant triphasé de 235 ampères sous 500 volts; la locomotive pèse 12 t et peut développer un effort de traction de 6.600 kg, elle pousse un train de 2 voitures pesant ensemble 14 t: chaque voiture contenant 70 personnes; la vitesse de marche en rampe de 250 mm est de 8 km.

Trois freins assurent l'arrêt ou le ralentissement du train :

1° Un frein à main comportant le frein ordinaire de friction monté sur l'arbre des pignons de crémaillères.

2° Un frein à mâchoire embrassant le champignon supérieur du rail de la crémaillère Strub actionné par le machiniste, ou automatiquement en cas d'interruption de courant.

3° Un frein à commande électrique monté sur l'arbre des dynamos et automatique. L'action de ce frein est entravée par un solénoïde, tant que le courant électrique passe; il fonctionne par conséquent dès que le courant est interrompu, ce qui arrive automatiquement en particulier dès que la vitesse dépasse une certaine limite; en outre, ce frein peut être actionné à la main d'un point quelconque du train.

Aucun frein n'est monté sur les voitures.

Voiture automobile du tramway électrique de Barmen.

Ces voitures ont la forme des voitures ordinaires de tramway avec plates-forme saux extrémités. Les deux essieux portant l'un et l'autre une roue dentée motrice sont actionnés chacun par un moteur indépendant de 60 chevaux excité en dérivation.

Sur chaque essieux sont montés les freins de friction ordinaires mus à volonté de l'une ou l'autre plate-forme.

D'autre part, dès que la vitesse dépasse 3,20 m par seconde (environ 11,5 km à l'heure), un régulateur à force centrifuge fait déclencher un ressort serrant le frein automatique.

En outre, des coins en fonte peuvent être placés sur le rail en avant des roues porteuses, pour parer au cas où les roues dentées s'échapperaient de la crémaillère. Enfin, un frein électrique permet de régler la vitesse sur les pentes, il a l'avantage de récupérer une partie du travail de la gravité.

Les voitures pèsent 9 t à vide, elle offrent 16 places assises et 4 debout, leur longueur est de 8 m., la vitesse de marche en palier est de 9 km à l'heure.

Le tramway de Barmen est comme nous l'avons dit établi sur une route ordinaire; il a été installé par la maison Siémens et Halske; l'ouverture à l'exploitation a eu lieu en 1904.

Voiture automobile du Mont-Salève.

Cette automobile qui remonte à 1902 est le premier cas d'application du moteur électrique à la traction en crémaillère.

Les voitures, longues de 8,510 m entre tampons reposent sur trois essieux dont les roues porteuses sont folles, l'adhérence n'étant pas utilisée pour la traction.

Les deux roues dentées motrices sont calées sur des faux essieux attaqués par l'intermédiaire d'engrenages par un moteur Thury à double réduction de vitesse. Chacun de ces moteurs développe normalement 30 ch, à la vitesse de 1.200 tours; la réduction totale de vitesse est de 1/14. La transmission de mouvement comprend 6 arbres; ce qui est assez compliqué.

Les moteurs seuls pèsent 2,6 t et 6 t avec les transmissions et batis, soit 100 kg par cheval, ce qui est un poids élevé pour un moteur électrique. Le poids de la voiture vide est de 10,4 t.

Locomotives industrielles de l'Union Elektricitats Gesellschaft.

Cette Société a construit, pour des voies industrielles à pente raide, des locomotives destinées à la desserte d'usines, mines, etc.

Nous citerons en particulier une locomotive pour voie de 0,60 m, d'une puissance de 35 ch, pesant 3,5 t.

Elle comporte 2 moteurs à double réduction, attaquant par l'intermédiaire d'un train d'engrenages un faux essieu sur lequel sont calés les pignons conduisant la roue dentée motrice et les essieux porteurs, dont l'adhérence est utilisée pour la propulsion.

La vitesse en palier atteint 2 m par seconde.

2e Classe. — Machines mixtes

Machines mixtes a un mécanisme

Le principe des machines mixtes remonte à la locomotive du chemin des carrières d'Œstermundingen, construite sur les plans de Riggenbach en 1870; mais cette machine différait notablement du type actuel en ce qu'un mécanisme à débrayage permettait d'actionner à volonté le mécanisme à adhérence ou à crémaillère.

C'est en 1876 que Riggenbach construisit une véritable machine mixte pour le chemin de Wasseralfingen; en 1880 les machines du chemin de Friederichssegen à la Lahn furent construites sur le même type, mais elles sont plus puissantes.

Les dispositions de ces machines ont été adoptées sensiblement pour la locomotive du chemin de Langres en 1887; nous allons décrire cette machine avec quelque détail.

Le principe essentiel est on s'en souvient, que le mécanisme à adhérence concourt à la propulsion, comme le mécanisme à crémaillère.

Machine de Langres.

Avant de parler de cette machine, remarquons que pour les machines mixtes il est utile que le diamètre de contact du bandage des roues porteuses soit légèrement supérieur au diamètre primitif de la roue dentée, car si le contraire se présentait il y aurait glissement, et les roues à adhérence tendant à tourner moins vite que les roues à crémaillère, elles seraient traînées sur le rail, d'où travail négatif, ce qui ne se présente pas lorsque les roues porteuses ont un diamètre légèrement supérieur à celui du cercle primitif de la roue dentée.

La machine de Langres, dont la figure 15 montre l'élévation, est portée par deux roues de 0,773 m de diamètre, l'empattement est de 1,85 m, les cylindres extérieurs de 0,280 m de diamètre attaquent un faux essieu intermédiaire sur lequel sont calés deux pignons conduisant deux roues dentées entre lesquelles est comprise la roue dentée motrice dont le diamètre primitif est de 0,764 m.

Le diamètre primitif des pignons calés sur l'arbre auxiliaire et des roues dentées accolées à la roue dentée motrice étant respectivement 0,353 et 0,613 le rapport des vitesses est de 1,74 : à un tour de la roue dentée correspond 1,74 tour de l'arbre. Le diamètre des roues porteuses étant de 0,773, la machine avance par tour de roue de 2,428, et la vitesse normale étant de 10 km à l'heure ou 166,67 m par minute, le nombre de tours de roue par minute est $\frac{166,67}{2,428} = 69$ tours environ,

Soit pour l'arbre intermédiaire $69 \times 1,74 = 120$ tours ou 4 par seconde; bonne condition de vitesse pour le mécanisme moteur.

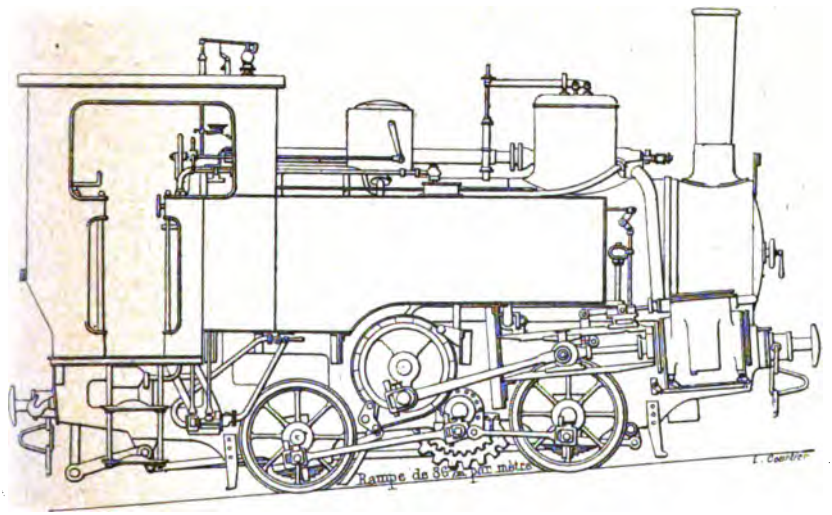


Fig. 15.

L'axe de la chaudière est incliné de 0,086 m par mètre; la surface de chauffe totale est de 36,2 m²; la surface de grille 0,76 m²; le poids à vide est de 12,4 t., en ordre de marche 13,6 t.

La machine remorque sur les rampes de 172 mm un train de 12,5 t à la vitesse de 10 km, soit un travail de 200 ch ou 5 ch par mètre carré de surface de chauffe; chiffre élevé, mais la rampe de 172 mm n'a que 230 m de longueur.

Dans les sections à adhérence, dont les déclivités maxima sont de 30 mm, l'effort limite basé sur l'adhérence est

de $\frac{24\,t}{7}$ = 2.000 kg, alors que l'effort de traction réel est inférieur à 1.100 kg.

Un frein de grue à poulie et lame flexible est monté sur le faux essieu et sert pour les arrêts normaux; en outre, des poulies de friction cannelées comprennent entre elles une roue dentée engrenant avec la crémaillère; elles sont montées sur l'essieu avant, en serrant ces poulies entre deux mâchoires on a un second frein semblable à ceux déjà décrits.

Enfin, la machine porte un frein à air comprimé système Riggenbach analogue à celui du Rigi.

Le diamètre des roues porteuses est supérieur de 9 mm au diamètre du cercle primitif de la roue dentée motrice, de façon que les glissements résultant de cette différence de diamètre se fassent dans le sens de la marche de la machine et que celle-ci s'améliore au fur et à mesure de l'usure des bandages.

Les machines du *Brünig* sont construites d'après les mêmes principes; mais elles sont plus puissantes, car elles remorquent un train de 35 t sur les déclivités de 120 mm; leur poids à vide est de 18,6 t, de 23 t en ordre de marche. La surface de chauffe est de 54,7 m², la pression à la chaudière 12 atm; leur empattement est de 2,400 m.

Les machines de *Padang Sumatra*, contruites pour la voie de 1,067 m, sont construites d'après les mêmes principes. Les roues porteuses ont un diamètre de 0,983 m, la roue dentée motrice a un diamètre de 0,975 m, le rapport de transmission est $\frac{1}{2,22}$.

Le diamètre des cylindres est de 340 mm, la course 500 mm. la pression à la chaudière 12 atm, l'empattement est de 2,80 m. le poids est à vide de 21 t, en ordre de marche de 26 t; elles remorquent un train de 60 t sur la déclivité maxima de 60 mm.

Les machines mixtes à 2 cylindres conviennent bien lorsque l'effort de traction est faible.

Mais les machines mixtes à deux mécanismes sont les plus répandues sur les chemins de fer mixtes, et doivent être préférées lorsque l'effort de traction est élevé. Nous allons les décrire.

Ces machines ont été imaginées par notre Collègue M. R. Abt et appliquées par lui pour la première fois en 1885 au chemin à voie normale de Blankenboug à Tanne, dans le Harz, en vue de l'emploi de sa crémaillère à lame.

En 1887, M. Bissinger a combiné au chemin du Höllenthal

l'emploi d'une machine à deux mécanismes avec la crémaillère à échelons.

Comme au Harz, il s'agit ici de ligne à voie normale et de trains relativement lourds.

Locomotives a quatre cylindres et une seule roue dentée motrice.

Ce type, plus récent que ceux du Harz et du Höllenthal, sur lesquels nous reviendrons, comporte essentiellement :

1° Deux cylindres extérieurs C^1 conduisant, par bielles et manivelles, l'essieu porteur du milieu, lequel est couplé avec

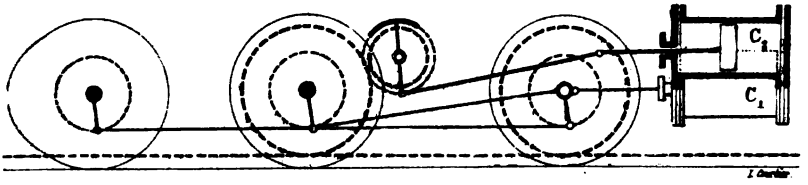


Fig. 16.

les essieux porteurs avant et arrière ; la roue dentée motrice est calée sur l'essieu médian, et sur l'essieu avant est calée une autre roue dentée ne servant que pour le freinage.

2° Deux cylindres intérieurs C^1 attaquant un faux essieu commandant par pignon la roue dentée motrice avec laquelle elle engrène directement. La figure 16 montre le schéma de cette disposition.

Machines de l'Oberland Bernois.

Les machines de ce type sont utilisées à l'Oberland Bernois ; celles du Saint-Gall-Gais sont d'un type à peu près analogue. Les données principales des machines de l'Oberland Bernois sont les suivantes :

Cylindres à adhérence	diamètre	320 mm
	course	450
Cylindres à crémaillère	diamètre	320 mm
	course	400
Diamètre des roues	à adhérence	915 mm
	dentées motrices	764
Rapport de la transmission		1,84

Poids à vide : 23,6 t ; en charge : 28,5 t.

Elles remorquent à la vitesse de 9 km un train de 45 t sur les rampes de 120 mm.

Les machines du chemin routier de Saint-Gall-Gais sont à voie de 1,00 m, elles doivent pouvoir passer dans les courbes de 30 m que comporte la ligne, malgré un empattement de 6 m. A cet effet, les deux essieux d'avant sont seuls accouplés; l'essieu d'arrière, seulement porteur, est distant de 3 m de l'essieu couplé le plus voisin. Cet essieu d'arrière est muni d'un Bissel. Les mécanismes à adhérence et à crémaillère sont distincts; mais normalement, dans les sections à crémaillère où les deux mécanismes travaillent, la vapeur sortant des cylindres à adhérence qui sont extérieurs, passe dans les cylindres à crémaillère qui sont intérieurs.

Cette machine, munie des trois freins habituels, développe une puissance de 250 ch, elle remorque un poids de 57 t sur les rampes de 92 mm en courbe de 30 m. Son poids à vide est de 26 t, à charge de 32,5 t; elle pèse environ 125 kg par cheval.

Les roues couplées ont 0,80 m de diamètre, la roue à crémaillère 0,86 m. La surface de chauffe atteint 92 m²; la chaudière est timbrée à 12 kg.

Pour pouvoir passer dans les courbes de 50 m, on a dû faciliter la convergence des essieux par un dispositif spécial et permettre un léger déplacement de l'essieu portant la roue à crémaillère pour conserver à cet essieu la position radiale.

Machines a quatre cylindres et deux roues dentées motrices.

Les roues dentées sont mises en mouvement, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un balancier, soit par l'intermédiaire d'une roue dentée.

Les machines du premier type comportent trois essieux accouplés, mus par les cylindres extérieurs; les essieux des roues à crémaillère, situés entre l'essieu porteur d'avant et l'essieu porteur médian, sont accouplés par bielles; le plus éloigné est mû par bielles et manivelles commandées par les cylindres extérieurs.

Machines de l'Eisenerz-Vordernberg et Beyrouth–Damas.

Les machines de l'Eisenerz-Vordernberg (Styrie, Autriche) et de Beyrouth-Damas sont de ce type.

Les premières, du poids de 43 t à vide et 57 t en charge, remorquent un train de 120 t sur une rampe de 71 mm; l'empattement est de 5 m; le diamètre des roues à adhérence de 1,05 m, celui des roues à crémaillère de 0,688 m; elles sont construites pour la voie de 1,435 m.

Les machines de Beyrouth-Damas sont un peu plus légères,

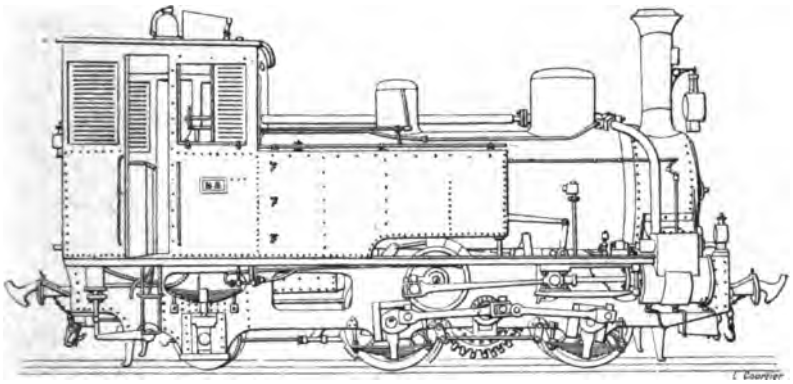


Fig. 17.

33 t à vide, 45 t en ordre de marche; elles sont faites pour la voie de 1 m; le diamètre des roues à adhérence est de 0,900 mm, celui des roues à crémaillère de 0,688 mm; elles remorquent un poids de 100 t en rampe de 0,70 mm. La figure 17 montre une vue de ces machines.

Machines du Harz.

Les machines du chemin à voie normale de Blankenbourg à Tanne, dues à M. Abt, comme nous l'avons dit, offrent un exemple de la transmission du mouvement par balancier au mécanisme à crémaillère. Ces machines-tender sont portées par quatre essieux dont trois accouplés à l'avant; les roues dentées sont installées entre chacun des essieux accouplés; l'essieu porteur libre d'arrière est muni d'un Bissel, il est distant de 2,40 m de l'essieu accouplé le plus proche; l'empattement des trois essieux accouplés est de 3,05 m.

La figure 18 montre la coupe et le plan des locomotives du Harz.

Nous avons dit que la fixation des roues dentées sur l'essieu

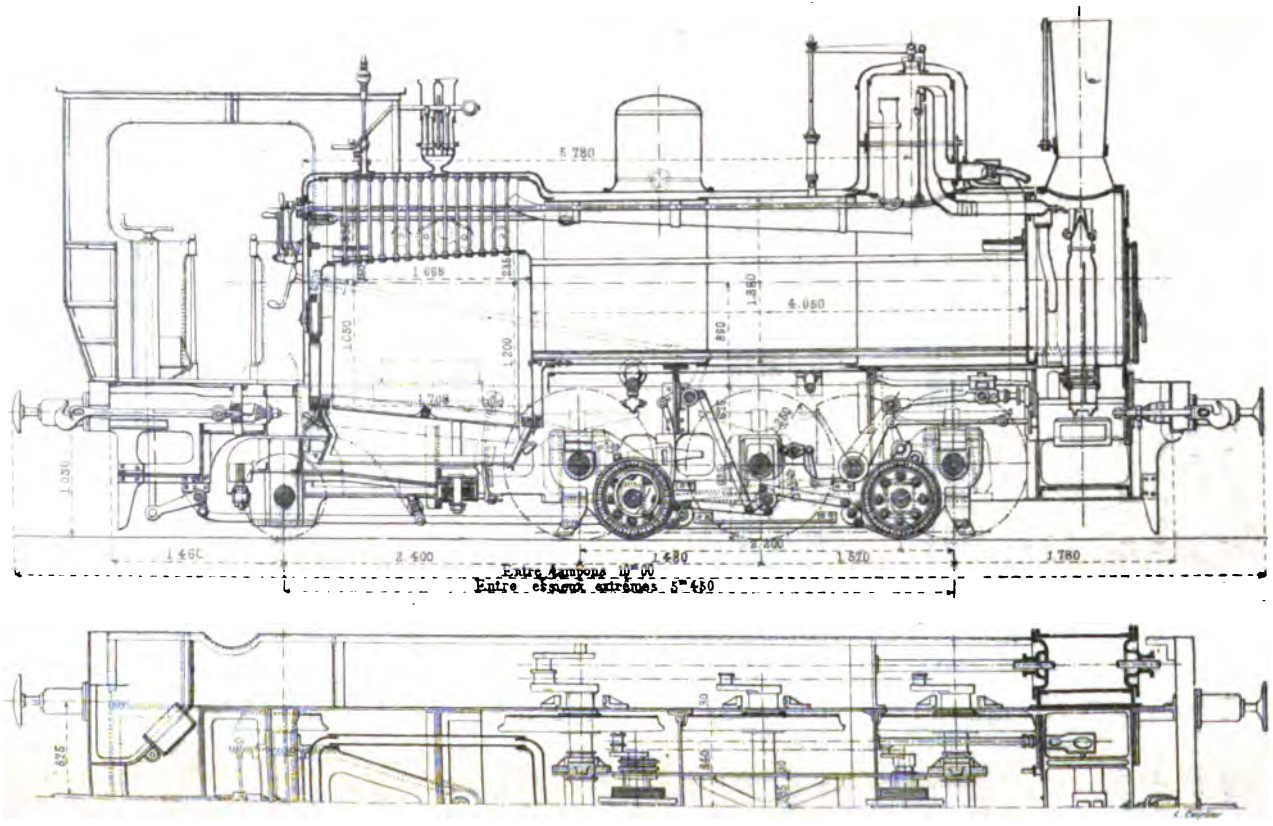

5 780
1 665
1 050
1 200
1 700
4 050
1 360
890
1 030
1 460
2 400
1 480
2 400
1 320
1 780
Entre tampons 11 00
Entre essieux extrêmes 5 450
625
340

FIG. 18.

laissait un certain jeu dans la transmission ; la figure 19 montre cette disposition. L'essieu moteur porte un renflement sur lequel sont pratiquées des cavités. Dans chaque cavité est placé un ressort en forme d'U, dont l'un est indiqué sur la figure en R ; les extrémités de ces ressorts pénètrent dans la couronne dentée et l'entraînent, ce qui permet un certain jeu.

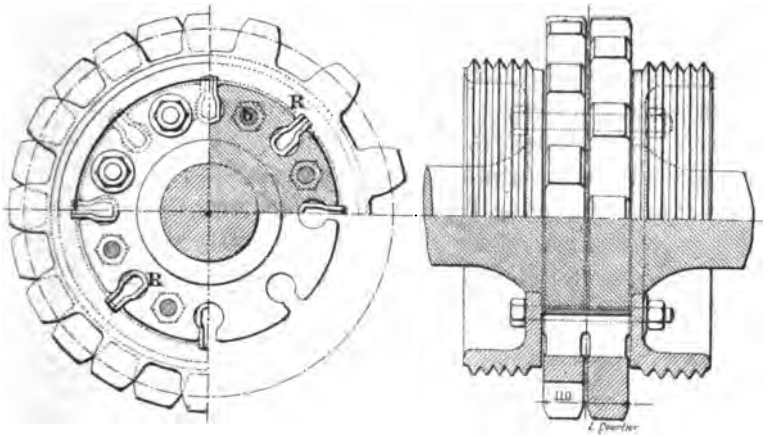


FIG. 19.

Ces machines peuvent remorquer un train de 135 t en rampe de 60 mm à la vitesse de 10 k à l'heure.

Voici leurs principales données :

Surface de chauffe	m^2	1,36	
Surface de grille	m^2	1,18	
Diamètre des roues à adhérence .	m	1,25	
— — à crémaillère.	m	0,573	
Diamètre des cylindres. adhérence (extérieurs)	0,450 m	course	0,400 m
crémaillère (intérieurs)	0,300 m	—	0,600 m
Poids de la machine en service. . . .	t	55	
Poids adhérent	t	47,5	
Pression de la chaudière	atm	10	

Comme nous l'avons dit, ces machines à quatre cylindres sont les premières du genre ; elles sont dues à notre Collègue M. Abt qui a renoncé ultérieurement à la transmission par balancier.

Machines du Höllenthal.

Les machines du Höllenthal, construites par M. Bissinger, sont très analogues aux précédentes, mais un peu moins puissantes; leur poids à vide est de 34,3 t, elles ont une surface de chauffe de 84,6 m² ; la machine est timbrée à 10 atm.

Ces machines remorquent un train de 100 t en rampe de 55 mm, à la vitesse de 10 km en courbe de 240 m de rayon.

Dans un troisième type de machine, les cylindres intérieurs attaquent directement les deux roues dentées, par le seul intermédiaire d'un essieu portant une roue dentée qui engrène directement avec les deux roues dentées à crémaillère.

Les locomotives de ce type ont été construites par la fabrique d'Esslingen pour les lignes de Reutlingen-Münsingen et Freudenstdat-Kloster-Reichenbach, d'aprés les indications de l'Ingénieur Klose.

Machines de Reutlingen-Münsingen.

Dans ces machines, les cylindres du mécanisme à adhérence peuvent recevoir directement la vapeur de la chaudière, ou recevoir seulement la vapeur sortant des cylindres à crémaillère. Au chemin de Reutlingen-Münsingen, les dimensions des machines sont les suivantes :

Mécanisme à adhérence.	Diamètre des cylindres.	m	0,420
	Course des pistons.	m	0,612
	Diamètre des roues couplées	m	1,230
Mécanisme à crémaillère.	Diamètre des cylindres.	m	0,420
	Course	m	0,540
	Diamètre de la roue à crémaillère. .	m	1,082
	Rapport de la transmission		$\frac{1}{2,26}$
	Pression de la chaudière.	atm	14
	Distance des roues à crémaillère . .	m	1,56

Poids adhérent. . . . . 42 t
— total en service. . . . . 54 t
— à vide. . . . . 43,7 t

Locomotives électriques.

Je n'aurai à citer que deux cas d'application de locomotives électriques pour chemins mixtes.

Machine de Sansstadt-Engelberg.

Cette machine, portée par deux essieux, comporte une seule roue dentée motrice. Deux dynamos mettent en mouvement, par l'intermédiaire d'une transmission, la roue dentée motrice fixée sur un axe creux à travers lequel passe la manivelle, accouplée avec les deux essieux à adhérence.

Dans les sections à crémaillère, grâce à un accouplement, la roue dentée est seule mise en mouvement; les roues porteuses tournent libres sur leur essieu.

Dans les sections à adhérence, la roue dentée motrice tourne à vide.

Par conséquent, les roues à adhérence et la roue à crémaillère ne travaillent pas simultanément comme dans les locomotives à vapeur mixtes.

Les données principales de ces machines sont les suivantes :

Diamètre des roues porteuses.	0,670 mm
— à crémaillère	0,700 —
Nombre de tours de la dynamo par minute.	650
Tension du courant	750 volts
Puissance des deux dynamos	150 ch
Poids.	12 t
Effort de traction en crémaillère.	7 500 kg
— en adhérence	1 800 —

Le courant employé est le courant alternatif triphasé.

En crémaillère et déclivité de 250 mm sur 1.500 m ces locomotives poussent une voiture à voyageurs de 15 t avec une vitesse de 5 km à l'heure; en adhéreuce et rampe de 50 mm, deux wagons à marchandises pesant ensemble 20 t à la vitesse de 11,5 km à l'heure. Même freinage électrique qu'au Gornergratt et à la Jungfrau, moteurs travaillant en génératrice à la descente, dès que la vitesse est supérieure de 4 0/0 au synchronisme.

Locomotives des tramways de Lyon a deux roues dentées motrices.

Ces locomotives comportent trois dynamos.

Au milieu se trouve une dynamo actionnant les roues à crémaillère; à chaque extrémité se trouve une dynamo actionnant les roues porteuses.

En adhérence, la dynamo actionnant le mécanisme à crémaillère est mise hors de circuit.

Légèreté spécifique des locomotives a crémaillère. Comparaison avec les locomoteurs électriques.

Les poids des diverses locomotives à vapeur à crémaillère ramenés au cheval-vapeur sont les suivants :

Langres	kg	97,5
Arth Rigi		103
Mont Pilate		110,6
Viège-Zermatt		118
Vitznau Rigi		136
Höllenthal		136
Diacophto-Kalavrita		156

Pour les locomoteurs électriques les poids sont beaucoup moindres. Pour la première machine électrique du Mont Salève le poids à la vérité était fort, 100 kg par cheval; mais depuis, les poids ont été bien réduits. Ainsi au Vésuve, les machines du poids de 10,4 t développent un travail de 160 ch, soit 65 kg par cheval.

Au Gornergratt, les machines pesant 10,5 t développent un travail de 180 ch, soit 58 kg par cheval.

Pour les voitures automobiles du tramway de Barmen, le poids brut par cheval est de 75 kg et en réduisant la caisse, le châssis et le train de roues, seulement 45 kg. On peut donc dire qu'en moyenne le moteur électrique pèse environ moitié moins que le moteur à vapeur; avantage de première importance pour la traction en très forte rampe.

Matériel roulant.

Les traits caractéristiques du matériel roulant des lignes à crémaillère sont la légèreté et les appareils de freinage.

Les voitures ouvertes du Rigi sont les plus légères, leur poids ressort à 74 kg par place offerte; les voitures fermées sont beaucoup plus lourdes; ainsi les voitures à bogies avec couloir central du Viège-Zermatt pèsent 148 kg par place offerte, celles du Brünig, 195 kg; la voiture fermée à deux essieux de Langres pèse 143 kg par place offerte.

La voiture automobile à vapeur du Mont-Pilate ne pèse que 178 kg par place offerte; cette voiture, comme celle du Rigi, est seulement fermée latéralement par des rideaux.

La voiture est disposée par gradins, de façon que les sièges soient horizontaux sur la rampe de 480 mm.

Le freinage a une importance capitale comme pour les machines.

Sur les lignes à fortes pentes, tous les véhicules sont munis du frein de friction habituel, agissant sur un essieu muni d'une roue à crémaillère.

Lorsque le train se compose d'un ou deux véhicules, la manœuvre du frein se fait à la main; dans certains cas, comme nous l'avons dit, il existe des freins automatiques, par exemple au Pilate. Signalons cette particularité qu'à la Jungfrau les voitures ne sont munies d'aucun appareil de freinage.

Lorsqu'il s'agit de lignes à profil moins raide, où les trains comportent un plus grand nombre de véhicules, on emploie pour actionner le frein à crémaillère un frein automatique continu, comme au Brünig, au Viège-Zermatt et au Höllenthal; sur cette dernière ligne, on admet dans les trains des voitures non munies de freins.

CHAPITRE V

Exploitation. — Comparaison entre les lignes à adhérence et à crémaillère.

Entretien de la voie.

Pour faciliter le roulement de la roue dentée, il est d'usage de graisser les dents de la crémaillère lorsque l'on emploie la crémaillère Riggenbach. Les roues dentées des machines s'usent ainsi assez lentement, et en comptant sur une pression de 6 000 kg au contact de la roue et des échelons, comme au Rigi, on peut compter qu'une roue dentée du type de ce chemin peut fournir un trajet de 20.000 km environ.

Avec la crémaillère Abt il faut vérifier le serrage des boulons fixant la crémaillère dans les coussinets, afin d'éviter qu'ils ne travaillent au cisaillement; même précaution avec la crémaillère Strub.

La tendance au glissement longitudinal de la voie doit être combattue très énergiquement, comme nous l'avons indiqué déjà; la régularité de la division des dents de la crémaillère ne pouvant être altérée en aucune façon.

Signalons en passant les inconvénients des passages à niveau pour les chemins de fer mixtes à crémaillère surhaussée, comme celui du Brünig par exemple, où il a fallu faire à la traverse des chemins ordinaires très peu fréquentés des passages en planches analogues aux passages des brouettes dans les gares: disposition inadmissible sur une voie à circulation active.

Enfin, il ne faut pas oublier l'inconvénient déjà signalé des chutes de neige pour les crémaillères à échelons.

Vitesses de marche.

Les vitesses varient considérablement avec le profil de la ligne.

Elles sont de 4 km au Mont Pilate, de 6 km au Rigi, de 8 km à Langres, de 10 km au Harz, au Höllenthal et au Brünig, de 12 km au chemin de Padang-Sumatra.

La capacité de trafic des lignes à crémaillère se ressent forcément de la faible vitesse de marche et de la réduction des charges.

Trafic.

Il est cependant intéressant de constater que, sur une ligne aussi escarpée que celle du Mont-Pilate, on transporte environ 40 000 personnes par an. 34 000 au Gornergratt. Au Vitznau-Rigi, de mai à octobre, environ 120 000; et, circonstance intéressante, sur cette dernière ligne le nombre des voyageurs est sensiblement le même à la montée et à la descente.

Au Brünig, on transporte environ 150 000 personnes par an.

Les charges remorquées varient nécessairement beaucoup : au Harz en rampe de 60 mm, en remorque 120 à 135 t. Au chemin de Prétoria à Lourenço-Marquez (Central South Africa R. R.), des machines de 133,7 m² de surface de chauffe remorquent un train de 350 t en rampe de 50 mm; c'est à notre connaissance la plus forte charge remorquée sur une ligne à crémaillère. Au Brünig, en rampe de 120 mm on remorque 30 à 40 t.

Les lignes à crémaillère sont toutes à voie unique et le nombre des trains est par suite limité par les croisements.

Sur les lignes de touristes, comme celle du Pilate, où les voyageurs se présentent par à-coup, on fait partir les voitures par séries de 2 ou 3 pour perdre le moins de temps possible au seul croisement intermédiaire de la ligne.

Dépenses d'Exploitation.

Les frais d'exploitations sont forcément élevés sur les lignes à crémaillère; voici à ce sujet les chiffres indiqués par M. R. Abt pour les lignes du Brünig, du Pilate, du Rigi, des Rochers-de-Naye et de Viège-Zermatt pour l'année 1896.

	PILATE	RIGI	GLION NAYE	BRÜNIG	VIÈGE-ZERMATT
Capital de 1er établissement	2.850.000	2.239.000	2.700.000	6.400.000	5.800.000
Par kilomètre . .	663.000	530.000	350.000	410.000	165.000
Recettes par km. .	39.675	58.148	21.043	13.569	12.855
Dépenses par km .	23.259	39.551	10.222	8.499	4.592
Produit net . . .	3,45	5,81	5,32	4,60	5,19

La ligne de Padang-Sumatra offre un exemple très intéressant de l'application des chemins à crémaillère pour un tonnage d'une certaine importance.

La longueur du réseau est de 210 km dont 36 en crémaillère.

D'après les chiffres indiqués par M. Moreau dans sa mémoire inséré au *Bulletin* de la Société de décembre 1901, les dépenses kilométriques de l'exploitation se sont élevées à 6468 f en 1876 et 7114 f en 1900.

Pour cette dernière année les dépenses kilométriques se décomposaient ainsi :

Frais généraux, Direction . . .	Fr.	1.115
Entretien de la voie et bâtiments . .		993
Matériel et traction		4.087
Exploitation.		919
TOTAL	Fr.	7.114

Les dépenses de traction représentent 57 0/0 des dépenses totales.

TARIFS

Les tarifs des lignes à crémaillère doivent tenir compte et tiennent compte en effet, non seulement de la distance horizontale parcourue, mais surtout de la hauteur gravie.

Au Brünig le kilomètre se paye 0,15 f, au Vitznau-Rigi 0,75 f au Mont Pilate 1,777 f, à la Jungfrau 2 f Il est clair que l'exploitant doit tenir compte, dans l'établissement des tarifs, de tous les éléments en jeu et, en particulier pour les lignes de plaisance en haute montagne, de la durée de la période d'ouverture possible.

COMPARAISON ENTRE LES LIGNES A CRÉMAILLÈRE ET A ADHÉRENCE.

Il faut le dire de suite, cette comparaison n'a d'intérêt et ne doit être faite que pour les lignes mixtes, les seules pour lesquelles on peut hésiter entre une ligne à adhérence et une ligne à crémaillère. Tel était le cas pour les chemins du Hollenthal, du Harz, de Viège-Zermatt, du Brünig, et plus récemment du Fayet-Saint-Gervais à Chamonix.

Si l'emploi des machines compound permet d'aborder par

simple adhérence des rampes de 40 à 45 mm, la traction électrique et l'emploi des véhicules automobiles, poussant à l'extrême la légèreté spécifique du moteur, permettent de franchir assez couramment des rampes de 90 mm, et ont pour conséquence de restreindre les cas d'application de la crémaillère.

Le tramway de Laon offre à cet égard un exemple particulièrement intéressant; la crémaillère n'est pas utilisée en effet à la montée des rampes de 113 mm et 122 mm qui règnent respectivement sur 114 et 152 m; ces rampes sont franchies par simple adhérence par les voitures automobiles; mais par contre le frein à crémaillère est une garantie à la descente, les freins à sabot pouvant ne plus donner une sécurité suffisante.

Nous citerons cependant l'exemple des tramways électriques de Boulogne-sur-Mer qui gravissent une rue en déclivité de près de 120 mm, sans inconvénients aussi bien à la montée qu'à la descente.

Toutefois il ne faut pas oublier que, lorsque l'on s'approche de la limite d'adhérence, la question de la sécurité de la descente est en jeu et qu'à ce point de vue la crémaillère donne une sécurité incomparable.

Au Viège-Zermatt l'adoption de la crémaillère a permis de réaliser une diminution de longueur de 500 m, ce qui est peu; mais par contre, une réduction de dépense de 500000 f sur un tracé à adhérence.

Au chemin du Harz, les dépenses d'établissement, évaluées à 45000000 f ont été réduites à 8000000 f pour le tracé à crémaillère.

Le chemin à crémaillère du Harz, exécuté dans un pays très accidenté, a coûté 130700 f par kilomètre.

Au Saint-Gall-Gais, la dépense kilométrique de l'établissement s'est élevée à 137627 f par kilomètre; elle a été au Brünig de 144.800 francs.

Dans ces dépenses, la crémaillère entre pour 30000 ou 40000 f par kilomètre; avec le matériel roulant on peut compter 45000 f de plus que pour une ligne à adhérence, dans des conditions identiques au point de vue de l'infrastructure.

Les chemins à crémaillère, en résumé, permettent de réaliser au point de vue des dépenses de premier établissement :

1° Une réduction de la longueur à construire;

2° Une diminution dans l'importance des ouvrages d'art parce qu'ils suivent de plus près les formes du terrain.

Par contre leur exploitation est plus onéreuse et leur capacité de trafic plus restreinte.

Une étude détaillée et comparative peut seule dans chaque cas déterminer le parti à prendre.

Si restreint que puisse paraître a première vue le champ d'application des chemins à crémaillère, on reconnaîtra cependant qu'ils ont donné dans le passé et donneront encore dans l'avenir le moyen de doter de voies ferrées des régions montagneuses que les lignes à adhérence auraient pu difficilement aborder. Cette œuvre est grande et éminemment utile; elle suffira pour faire vivre longtemps dans le souvenir des Ingénieurs les noms de Riggenbach et de Roman Abt et nous devons nous féliciter de voir la Société des Ingénieurs Civils de France compter parmi elle des hommes qui ont rendu de semblables services à la science de l'Ingénieur, qui ont contribué à répandre les voies ferrées dans les régions où la nature avait accumulé les difficultés et permis à tout être humain l'ascension des plus hauts sommets de la chaîne des Alpes.

OUVRAGES A CONSULTER

R. ABT : *Die drei Rigi-Bahnen.* Zurich, 1877.

R. et S. ABT : *Der Eisenbahnbau-Lokomotiv-Steilbahnen und Seilbahnen.* Leipzig, 1901.

BLONDEL et DUBOIS : *La Traction Électrique*, tome II. Paris, Béranger, 1901.

BLUM, von BORRIES et BARKHAUSEN : *Die Eisenbahn Technik, die Zahnbahnen.* Wiesbaden, 1905.

BRUCKMANN : *Neure Zahnradbahnen-Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, volume 142.

ENGINEERING : *Chemin de fer de Padang-Sumatra*, 19 avril et 10 mai 1895, 3 septembre 1897. *Chemin de fer de Snowdon*, 3, 10 et 17 avril 1896. Chemin de fer du Nilgiri. 16 septembre 1898.

S. HERZOG : *Die Jungfraubahn.* Zurich, 1904.

LÉVY-LAMBERT : *Les Chemins de fer à crémaillère.* Paris, 1892.

KOPPE : *Interessantesten Alpen und Bergbahnen vornehmlich der Schweiz.* Berlin, 1896

MALLET : *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils. Effet utile des Locomotives*, février 1896, page 248.

MARTIN et CLARARD : *Monographie du Chemin de fer de Saint-Gall-Gais.* Paris, Baudry, 1891.

Revue générale des Chemins de fer, 1er janvier 1899.— R. GODFERNAUX : *Le Chemin de fer de la Jungfrau.*

BOURQUELOT : *Chemin de fer électrique de Laon*, octobre 1899.

Zweizerische Bauzeitung, volume 33. — 1899. *Die Elektrische Bahn Stansstadt-Engelberg* volume 31.

Die Elektrische Zahnradbahn auf der Gornergratt. Zurich, 1903.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER. — **Considérations générales. — Historique** 507

De l'adhérence. Valeurs supérieures et inférieures. 508
Diminution de l'effet utile des locomotives en forte rampe ; limite de charge résultant de la valeur de l'adhérence, limite résultant de la légèreté spécifique du moteur ; exemples numériques de charges traînées en fortes rampes sur des lignes à adhérence et à crémaillère. 509
Principe des chemins à crémaillère 511
Principe des divers types de crémaillère, chemins entièrement à crémaillère et chemins de fer mixtes 512

CHAPITRE II. — **Tracé des chemins à crémaillère.** 512

Description de tracés 513
1° Chemins entièrement à crémaillère 513
Chemins de la Jungfrau et du Gornergratt 516
2° Chemins de fer mixtes. 517
Chemins de l'Oberland bernois 517
Limites inférieure et supérieure des déclivités 518
Rayon minimum des courbes 518

CHAPITRE III. — **Voie et crémaillère. Types divers de crémaillère** . 519

Particularités des voies à crémaillère 519
Poussée longitudinale de la crémaillère 520
Consolidation de la voie, ancrages 520
Crémaillère Riggenbach 521
Disposition, dimensions, constructions, poids, tracé des dents 521
Types à ailes symétriques et dissymétriques, exemples 522
Type surélevé du Brünig 523
Type de Trait Planche 523
Types Bissinger et Klose ; exemples divers 524
Inconvénients des crémaillères type Riggenbach et dérivés. 524
Crémaillère Abt, principe ; crémaillères à 1, 2 et 3 lames, dimensions, poids, tracé des dents, avantages comparatifs relativement aux types précédents 526
Crémaillère Strub, profil, construction, poids, avantages comparatifs relativement aux types précédents. 528
Crémaillère Locher, principe, profil, applications en très forte rampe, type du Mont-Pilate 530
Pièce d'entrée de la crémaillère des chemins de fer mixtes 533
Prix de revient de la crémaillère 535

CHAPITRE IV. — **Machines et matériel roulant. — Traction électrique.** 535

Locomotives à système simple et mixte 536
Machines à 1 et 2 mécanismes moteurs 536
Locomotives à 1, 2 et 3 roues dentées 539
Types de Vitznau-Rigi, d'Arth-Rigi, du Schneeberg, de Manitou au Pikes-Peak pour lignes entièrement à crémaillère 539
Locomotives électriques, dispositions générales: freinage, locomotive de la Jungfrau. Voiture du tramway de Barmen. Automobile du Mont-Salève. Locomotives de l'Elektricitäts Gesellschaft 541

Machines des chemins mixtes 544

Machines à 1 mécanisme : Langres, Brünig, Padang-Sumatra 544
Machines à 2 mécanismes : Oberland Bernois, Eisernerz-Vordenberg, Beyrouth-Damas, Blankenbourg à Tanne, Höllenthal, Reutlingen-Münsingen 547
Locomotives électriques du chemin mixte de Stansstadt-Engelberg 553

Matériel roulant 555

Voitures du Rigi, de Viège-Zermatt, du Brünig, du Mont-Pilate, de la Jungfrau . . 555
Dimensions, poids, légèreté spécifique 555

CHAPITRE V. — **Exploitation** 556

Entretien de la voie et du matériel, graissage de la crémaillère, vitesse de marche. 556

Trafic 557

Dépenses d'exploitation, dépenses de traction 557
Tarifs de diverses lignes. Recettes 558

Comparaisons entre les lignes à adhérence et à crémaillère . . . 558

Ouvrages à consulter 561

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

Édouard SIMON

PAR

M. A. MALLET

La Société des Ingénieurs Civils de France a éprouvé, au cours de l'année dernière, une perte très sensible dans la personne d'un de ses membres les plus dévoués, Édouard Simon.

Dans la séance du 19 mars 1905, notre Président, M. Coiseau. annonçait en termes émus le décès de notre Collègue, dont la vie et les travaux devaient être retracés dans une notice insérée au Bulletin de la Société. Diverses circonstances ont retardé, malheureusement, jusqu'ici la publication de cette notice. On peut affirmer que, pour être un peu tardif, le témoignage de regret et d'estime que la Société donne ici, par notre voix, à cet Ingénieur distingué, n'en est pas moins sincère.

Édouard Simon était né en 1840, à Elbeuf-sur-Seine, où son père exploitait une fabrique de drap; il était le dernier de trois fils, dont le second mourut très jeune et dont l'aîné, qui succéda à son père, est encore vivant. Celui qui écrit ces lignes eut les jeunes Simon pour voisins et camarades d'enfance et saisit avec empressement l'occasion de donner à celui qui devint notre Collègue, cette suprême marque de sympathie.

Édouard Simon, après avoir achevé ses études à Paris, fit son apprentissage industriel sous les auspices de Michel Alcan, beau-frère de sa mère; il était à bonne école pour s'initier aux détails des diverses branches de la grande industrie textile dans laquelle notre ancien Président s'était acquis, à si juste titre, une notoriété considérable.

Après le stage nécessaire dans le bureau d'Ingénieur de son oncle, Simon entra dans la pratique en passant successivement dans plusieurs filatures ou fabriques de tissus, en qualité d'Ingénieur d'abord, puis de directeur ensuite et acquit, dans ces diverses fonctions, une expérience consommée qui lui permit d'apporter de sérieux perfectionnements à plusieurs machines

ou procédés de l'industrie textile ; il ne tarda pas, en suivant l'exemple de Michel Alcan, à devenir, dans ces questions si difficiles, un spécialiste d'une compétence universellement admise. Cette compétence se trouva consacrée par la nomination de Simon comme expert près les tribunaux et expert du Gouvernement pour les litiges relatifs aux fils et tissus. Il publia plusieurs ouvrages sur ces sujets et aussi sur les questions économiques qui l'attiraient vivement et dont il avait fait une étude très approfondie. Ses connaissances techniques et la sûreté de son jugement le firent admettre, de 1867 à 1900, dans les comités d'admission et d'installation des diverses expositions pour les sections de filature et tissage et il y joua toujours un rôle très actif et souvent considérable.

Bien que la pratique des arts textiles ait fait l'objet principal de la carrière de notre Collègue, il ne s'y confina pas exclusivement et, toujours prêt à donner son concours partout où il pouvait être utile, il entra, en 1889, au Conseil de direction de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail, et les services qu'il y rendit lui firent confier, en 1895, les importantes fonctions de secrétaire général qu'il remplit avec le plus complet dévouement jusqu'à sa mort.

A la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, Simon fit partie du Comité des Arts mécaniques, depuis 1881, et fut plus tard nommé censeur de cette Société. Dans sa notice sur le défunt, insérée dans le Bulletin de la Société d'Encouragement, notre ancien Président, M. A. Brüll, dit que Simon ne produisit pas moins de soixante-cinq rapports et vingt-neuf communications, sans parler de ses nombreux travaux sur les mesures administratives et sur les secours ou encouragements à accorder.

Les travaux de notre Collègue et sa situation si légitimement acquise finirent par lui faire obtenir la croix de la Légion d'honneur, le mot finirent se justifie par le fait que, proposé pour la première fois à la suite de l'Exposition de 1867, il ne fut décoré qu'après celle de 1900. Il est vrai que Simon était d'une modestie et d'un désintéressement rares et considérait comme la première des récompenses le sentiment du devoir accompli.

Nous arrivons maintenant à ses relations avec la Société des Ingénieurs Civils. Admis dans son sein en 1869, il entra au Comité en 1882 et y resta plusieurs années, suivant très assidûment ses travaux et prenant part aux discussions dans lesquelles

la justesse de ses vues et son grand sens pratique le faisait toujours écouter avec faveur. Il fit partie de diverses commissions dont les travaux n'attirent pas l'attention mais sont féconds en résultats utiles. Là, comme ailleurs, il était toujours prêt à payer de sa personne dès que son concours était réclamé. C'est ainsi qu'en 1887, il suppléa momentanément le trésorier, M. A. Hallopeau, pendant une maladie de celui-ci.

Sa participation à nos travaux fut importante, on ne compte pas moins d'une douzaine de mémoires insérés dans nos Bulletins; le premier, qui remonte à 1871, est la traduction de l'anglais d'une note sur une nouvelle communication à travers l'Arabie pour relier l'Europe et l'Inde. Ses autres communications sont relatives à la filature et au tissage, ou aux associations ouvrières, en France et à l'étranger; la dernière, faite en 1904, traite du bien-être des ouvriers aux États-Unis.

Mais le fait qui domine le passage de Simon parmi nous est la fondation, faite de ses deniers, en 1888, du prix portant le nom de Prix Michel Alcan, en souvenir de son oncle, et devant être décerné, tous les trois ans, au meilleur mémoire remis par un membre admis au cours de la période triennale précédant l'exercice où le prix est décerné. En dehors de ce prix, Simon figurait sur la liste de nos donateurs pour une somme notable. Si nous insistons sur ce fait, c'est pour caractériser la nature essentiellement généreuse et charitable de notre Collègue dont les bienfaits ne se comptaient pas; nous renverrons à la notice très complète de M. Brüll, au sujet des libéralités faites par Simon au profit de diverses institutions au premier rang desquelles figure la Société des Amis des Sciences.

Par sa droiture, sa bienveillance et la sûreté de son commerce, Simon se conciliait l'estime et l'affection de tous ceux qui le connaissaient, aussi tous les Membres de la Société des Ingénieurs Civils de France conserveront le meilleur souvenir de ce Collègue aimable et dévoué à nos intérêts, qui fut en même temps un Ingénieur distingué et un spécialiste difficile à remplacer.

CHRONIQUE

N° 315.

Sommaire. — Revêtements calorifuges pour chaudières et conduites de vapeur. — L'hôtel des Sociétés réunies d'Ingénieurs à New-York. — Conducteurs d'électricité au Niagara. — L'industrie du sel en Chine. — L'industrie chimique aux États-Unis. — Au Simplon.

Revêtements calorifuges pour chaudières et conduites de vapeur. — A la réunion du Cleveland Institute of Engineers, tenue à Middlesbrough, le 29 janvier dernier, M. Ashby W. Warner a présenté une communication sur la question des revêtements calorifuges pour chaudières et conduites de vapeur dont voici un résumé.

L'auteur fait remarquer que l'industrie des matières non conductrices de la chaleur est très probablement la plus ancienne qui ait existé, car les vêtements dont l'homme a commencé à se couvrir ne sont, même dans leur forme la plus rudimentaire, autre chose que des enveloppes calorifuges. Il ne semble pas que, dans son application à l'industrie, cette question ait reçu toute l'attention qu'elle mérite. On peut considérer les matières non conductrices de la chaleur à deux points de vue pour leurs applications, savoir : comme conservatrices de la chaleur, c'est le cas des chaudières, conduites de vapeur, machines, etc., et comme conservatrices du froid, cas des appareils frigorifiques. La première application est de beaucoup la plus générale.

Il y a quinze ou vingt ans, on ne connaissait guère comme couvertures de chaudière que de la terre à four mélangée de matières fibreuses, telles que du poil de vache. On se servait aussi dans les forges d'un mélange de terre, de bouse de vache, de poils, de sciure de bois et de paille hachée. En plein air, cela allait encore, mais, dans des locaux fermés, il en était autrement. L'auteur connait des cas où on ne pouvait tenir dans des locaux pendant qu'on couvrait des tuyaux qui y passaient d'un mélange de ce genre, tant l'odeur était épouvantable. Cette méthode appartient au passé, mais il y a encore des industriels qui considèrent la protection des chaudières et conduites de vapeur comme un détail sans importance ou croient qu'une matière en vaut une autre; ils mettent des enveloppes parce que les associations de surveillance en demandent et aussi parce qu'elles préservent, dans une certaine mesure, le métal de la rouille.

Les qualités à rechercher dans un bon calorifuge sont : la porosité, la durée et la légèreté; en fait, ce sont les substances qui contiennent le plus de cavités où l'air peut se loger qui donnent les meilleurs résultats.

En ce qui concerne la durée, on ne peut rien dire d'absolu, parce qu'une matière qui tiendra très bien à une température modérée, pourra ne rien valoir à une température élevée. La légèreté est surtout nécessaire pour les applications à la marine. Une condition importante est

que la substance ne contienne rien qui puisse attaquer les métaux et notamment qu'elle soit exempte de soufre qui est très pernicieux. L'auteur a constaté que les meilleurs calorifuges sont ceux qui ont une couleur claire; ils rayonnent beaucoup moins que ceux qui ont une teinte foncée.

On juge quelquefois de l'effet d'un calorifuge par la température extérieure de l'enveloppe, ce n'est pas un bon moyen d'appréciation, la seule mesure rigoureuse est celle de l'eau condensée. L'auteur cite l'exemple d'une conduite de vapeur qui en quarante-deux heures, avant d'être couverte, donnait 1 054 kg d'eau condensée; après revêtement la condensation était réduite à 278 kg, soit une réduction de 75 0/0 en nombre rond. On peut réaliser avec cette précaution une économie annuelle de 7 à 8 f par mètre carré de surface protégée. Si cette protection coûte pour la même surface 1 f par an d'intérêt et d'entretien, il suffira qu'elle dure cinq à six ans pour qu'il y ait avantage à l'employer et si, comme on peut le supposer, la durée atteint une dizaine d'années, le bénéfice sera considérable.

La chaleur perdue par un tuyau enveloppé est proportionnelle à la surface extérieure de l'enveloppe. Une couche de matière non conductrice de 25 mm d'épaisseur double presque la surface extérieure pour un tuyau de 50 mm, tandis qu'elle augmente dans une faible proportion cette surface pour une conduite de 0,50 m. Les conditions changent donc beaucoup suivant les diamètres et elles sont plus favorables pour les grosses conduites que pour les petits tuyaux. Un tuyau de 50 mm perd 1 930 calories par heure et par mètre carré de surface, alors qu'un de 0,102 m ne perd que 1 800 pour la même surface et la même période de temps.

Avec les meilleurs calorifuges, la perte de calorique peut être évaluée à 2,45 calories par mètre carré de surface et par degré de différence de température alors que cette perte s'élève de 3,5 à 5 calories pour des calorifuges médiocres. Tout le secret de la valeur des matières propres à jouer ce rôle est dans la proportion d'air qu'elles peuvent emmagasiner à l'état stagnant.

On a, dans les ateliers, l'habitude de ne pas couvrir les chaudières des grues mobiles, c'est une négligence qui coûte cher; on pourrait économiser de 25 à 45 0/0 de combustible brûlé dans ces appareils. Dans les forges où ils sont exposés à des chocs et appelés à accomplir un travail brutal, il est nécessaire de protéger les enveloppes avec une garniture en tôle mince.

On n'est pas d'accord sur la question de l'enveloppe des brides; on objecte que si les brides sont recouvertes, on ne voit point les fuites des joints. On fait actuellement des dispositifs qui répondent à cette objection. Les brides d'un tuyau de 0,125 m de diamètre, ont une surface exposée à l'air de 10 à 12 dm carrés et leur couverture peut économiser 5 à 6 f par an.

L'auteur entre dans quelques détails sur les résultats obtenus avec des machines d'élévation d'eau qui ont vu leur consommation de charbon réduite de 25 0/0 par l'application d'enveloppes calorifuges et où une chaudière type Lancashire envoyait de la vapeur à 390 m de dis-

tance par un tuyau de 64 mm de diamètre, avec une perte de pression réduite à 0,15 kg par centimètre carré. Il y a bien des cas où on est obligé d'envoyer la vapeur à de grandes distances, avec la plus faible perte de pression possible, par exemple dans les fabriques d'explosifs.

Des expériences ont été faites par la National Boiler and General Insurance Company avec une composition dans laquelle entre de la farine fossile, expériences qui ont eu lieu à la station des tramways électriques de l'île de Thanet, à Saint-Peters, près Margate. Elles ont fait voir que la dépense faite pour protéger les surfaces chaudes par des isolants de première classe est un placement très rémunérateur, à la condition de recouvrir tout, les brides, les écrous, les boîtes à soupapes aussi bien que les conduites. La farine fossile provient du kieselguhr qui est une terre contenant une forte proportion d'infusoires. L'état de ces coquilles microscopiques donne au kieselguhr une porosité remarquable d'où ses propriétés de non-conductibilité pour la chaleur. C'est, à ce point de vue, la meilleure substance à employer.

Comme application inverse, c'est-à-dire protection contre l'échauffement, l'usage principal est pour les installations frigorifiques et notamment, les chambres réfrigérantes. On emploie surtout : les poils, le feutre, le liège pulvérisé, les briques de liège, le poussier de charbon, la pierre ponce, la laine minérale et la remanite, substance faite en Allemagne avec des déchets de soie. La laine minérale a été faite d'abord aux forges de la Toes, à Middlesbrough, d'après la patente de M. Ch. Wood. Les laitiers provenant des minerais de Cleveland sont les meilleurs pour cette fabrication, on en expédie dans d'autres endroits dans ce but. On a employé à une certaine époque cette laine pour les enveloppes de chaudières et de conduites de vapeur, mais cette matière attaque, dit-on, l'acier et on la réserve maintenant pour d'autres emplois. Sur le continent, on se sert, dans une très grande mesure, de plaques ou de briques de liège pour le revêtement des chambres de froid.

La discussion qui a suivi cette communication a donné lieu à des observations dont nous mentionnerons les plus intéressantes.

On a signalé l'essai récent fait à Middlesbrough d'une nouvelle matière calorifuge qui a l'avantage d'être très peu conductrice, très abondante et sans aucune valeur, ce sont les poussières provenant des hauts fourneaux, on les fait entrer dans la composition de couvertures isolantes. Toutefois l'expérience ne s'est pas encore prononcée sur leur valeur.

La question de l'influence pernicieuse de la laine minérale sur les métaux dont sont formées les chaudières et des conduites de vapeur a été très discutée. Cet effet peut tenir à la composition des laitiers et notamment à la présence du soufre. On en cite l'expérience suivante. Une aiguille d'acier placée dans de l'amiante a été complètement rouillée en huit ou dix semaines et, mise dans de la laine animale, elle n'a montré aucune trace d'oxydation au bout du même temps. Il en est de même de la propriété qu'a cette substance de se mettre en poudre par les vibrations, ce qui l'a fait écarter de certaines applications; il y a des qualités de laine minérale qui se réduisent en poussière et d'autres qui résistent très bien. On a discuté également sur la question du poids spécifique de la laine minérale.

Il a été cité des chiffres très différents, allant jusqu'à 320 kg au mètre cube, mais on a paru généralement admettre plutôt les valeurs de 130 à 200 kg. Cette légèreté constitue un des avantages les plus sérieux de cette matière.

Personne n'a d'ailleurs contesté l'énorme avantage que présente l'emploi d'enveloppes calorifuges sur les surfaces chaudes et l'intérêt qu'il y aurait à introduire ce mode de protection aux brides et autres parties accessoires des conduites, si on pouvait le faire avec des dispositions simples et permettant l'inspection des joints. Nous extrayons ce qui précède de l'*Iron and Coal Trades Review*.

L'hôtel des Sociétés réunies d'Ingénieurs à New-York. — On poursuit, à New-York, la construction d'un vaste édifice qui doit être le siège commun des trois grandes Sociétés nationales : Ingénieurs mécaniciens, Ingénieurs électriciens et Ingénieurs des Mines (les Ingénieurs Civils ont leur hôtel particulier), et cette construction est déjà commencée. Nous donnons ci-après la partie la plus intéressante du rapport de la Commission chargée de la réalisation du projet.

Le concours institué pour le choix des architectes devant être chargés de l'étude et de l'exécution de l'hôtel offert par M. André Carnegie aux Sociétés : American Institute of Electrical Engineers, American Society of Mechanical Engineers, American Institute of Mining Engineers et de celui de l'Engineers Club, a amené la présentation de vingt-six projets. Après une étude attentive de ces projets, la Commission a désigné MM. Hale et Rodgers et Henry G. Morse comme architectes pour les trois Sociétés et MM. Whitfield et King pour l'Engineers' Club.

Il est bon de rappeler d'abord que l'hôtel des Ingénieurs a sa façade sur la 30e rue entre les 5e et 6e avenues et occupe un terrain de 38,10 m de longueur sur 30,50 m de profondeur ; la construction utilise 35,07 m en façade et 27,50 en profondeur.

Les conditions à remplir pour cette construction sont les suivantes :

1° L'hôtel est destiné tout d'abord à recevoir les trois Sociétés nationales fondatrices ; on a dû avant tout consulter leurs convenances dans les dispositions adoptées ;

2° L'édifice doit assurer le service des trois Sociétés nationales et des autres organisations analogues qui pourraient s'y adjoindre, en mettant à leur disposition des salles d'assemblées et de conférences, pour réunions générales, présentation et discussion de mémoires, lectures scientifiques et démonstration, etc. En prévision d'un nombre un peu important de Sociétés à accueillir, on a dû s'arranger pour établir un nombre de salles de réunion convenable pour les divers usages.

La plus importantes de ces salles destinées aux séances des trois Sociétés nationales et de quelques autres grandes associations peut recevoir mille auditeurs. On a considéré ce chiffre comme le maximum permettant d'entendre suffisamment la voix de l'orateur. Cette salle a été mise au premier étage pour qu'on put y parvenir sans l'aide d'ascenseurs. On l'a pourvue d'un vaste foyer et de larges accès pour faciliter l'arrivée et la sortie des assistants. Il a été établi des escaliers aux quatre angles de l'étage que cette salle occupe entièrement. Pour que

les assistants placés au fond de la salle puissent voir les objets exposés sur l'estrade, les sièges sont disposés en amphithéâtre suivant les meilleures dispositions de la pratique moderne. Des vestiaires sont établis dans les corridors de manière à assurer un service rapide pour une assistance nombreuse.

L'arrivée du dehors a lieu par une grande rotonde centrale ouvrant sur la rue et communiquant avec un large escalier; il y a de plus un passage circulaire pour les voitures qui entrent d'un côté et sortent de l'autre d'une manière continue. La salle de préparation des modèles et expériences, voisine de la salle de réunion, est desservie par un monte-charge permettant d'amener des machines d'un poids assez considérable.

A l'étage au-dessus de la grande salle se trouvent deux salles de réunions qui en occupent la plus grande partie. Ces deux salles peuvent être employées séparément ou réunies ensemble.

Le reste de l'emplacement est occupé par des pièces plus petites dans lesquelles on a prévu les installations nécessaires pour les rafraîchissements, lunch, etc.

Au-dessus sont disposées un certain nombre de salles pour réunions de sociétés ou pour les assemblées des sections pendant les congrès des grandes sociétés.

On croit que ces salles seront très recherchées pour des lectures ou conférences scientifiques et on les a munies d'installations pour la distribution de l'electricité, de l'air comprimé, de l'eau et du gaz.

Dans toutes les salles, il y a des dispositions prévues pour les projections;

3° Une considération très importante, dans l'étude de l'édifice, a été l'accommodation des deux étages supérieurs pour l'installation des bibliothèques des diverses sociétés. Une des conséquences de la réunion de ces sociétés dans un local commun a été la création d'une bibliothèque d'une richesse exceptionnelle et d'une très grande facilité de consultation pour tout ce qui concerne les sciences et l'art de l'ingénieur. Il y avait là une occasion unique de remplir ce programme et on n'a pas manqué de le faire dans les conditions les plus larges et les plus avantageuses.

L'étage supérieur est tout entier consacré aux salles de lecture et d'études, de dessin, à des pièces pour les reproductions photographiques, etc. On a choisi cet emplacement parce qu'il assurait à la fois, l'éclairage, la fraîcheur et l'absence de bruit et de poussière.

L'étage au-dessous contient les réserves de livres surtout pour l'avenir, car un grand nombre de volumes seront déjà logés dans les salles de lecture et les locaux accessoires de l'étage supérieur. Cette disposition permet de parer au développement qu'on peut espérer et qui fera de cette bibliothèque la plus importante du pays dans ses spécialités;

4° L'hôtel est vraisemblablement appelé à recevoir plus tard un assez grand nombre de sociétés qui ont pour objet les sciences ou certaines branches de l'art de l'ingénieur, telles que la Société d'électricité de New-York, la Société des Constructeurs et Ingénieurs maritimes, la Société des Ingénieurs pour le chauffage et la ventilation, l'Association

Fig. 1

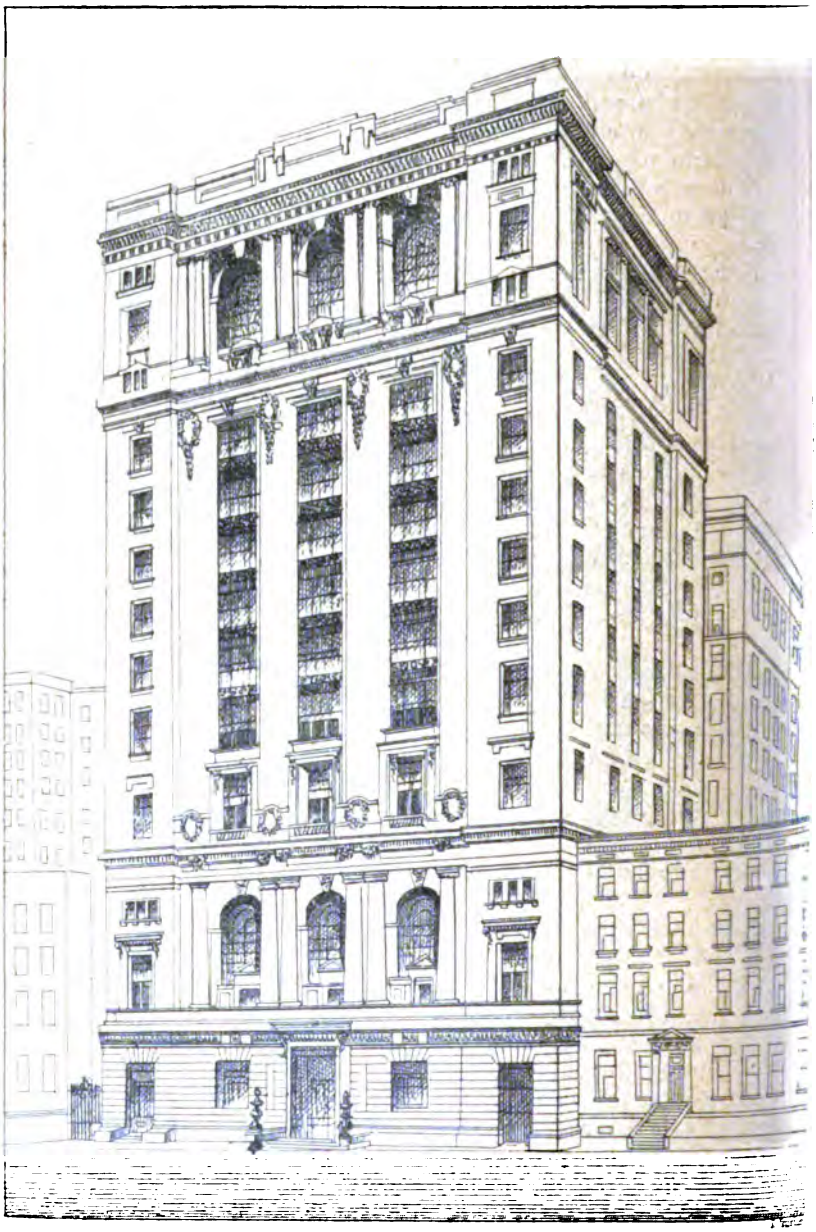


Fig. 3

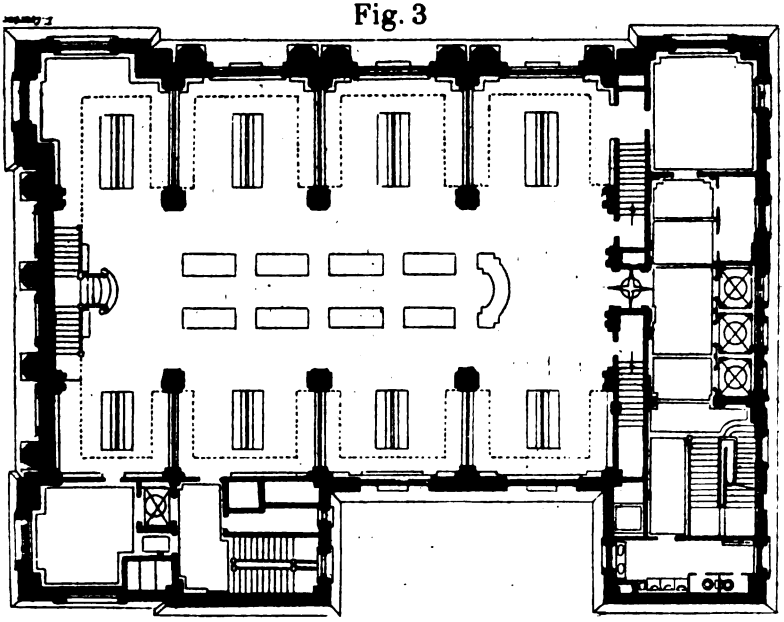
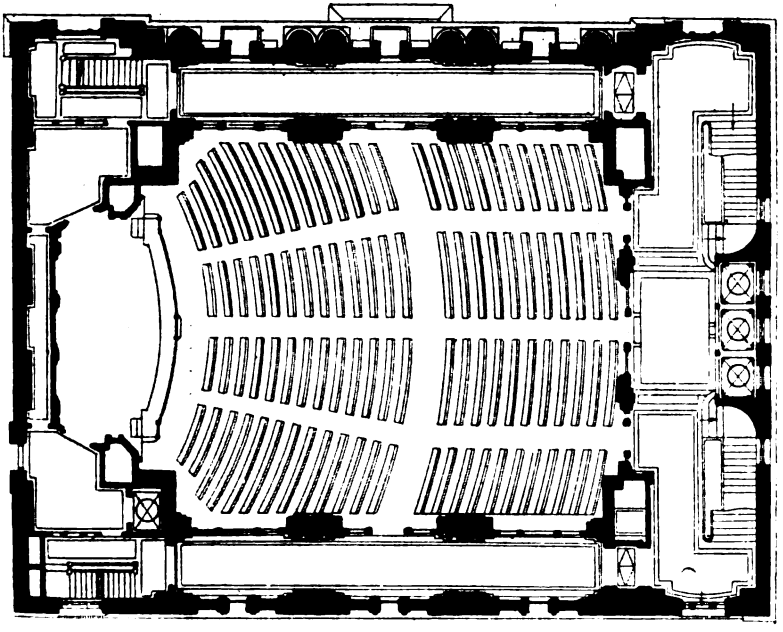


Fig. 2



Sociétés américaines.

NOMS ET DATE DE FONDATION	DATE DU RELEVÉ	MEMBRES HONORAIRES	MEMBRES	MEMBRES ASSOCIÉS	ASSOCIÉS	JUNIORS	TOTAL
American Society of Civil Engineers 1852	Janvier 1905	9	1 795	903	127	367	3 203
American Institution of Mining Engineers . . 1871	Id.	7	3 843	—	190	—	3 680
American Society of Mechanical Engineers . . 1879	Id.	10	1 915	—	237	609	2 780
American Institution of Electrical Engineers . 1884	Id.	2	481	2 851	—	—	3 334

Sociétés européennes.

NOMS ET DATE DE FONDATION	DATE DU RELEVÉ	MEMBRES HONORAIRES	MEMBRES	MEMBRES ASSOCIÉS	ASSOCIÉS	TOTAL
Institution of Civil Engineers 1828	Janvier 1905	19	2 191	4 116	271	6 597
Institution of Mechanical Engineers 1847	Mars 1905	9	2 351	1 845	72	3 977
Iron and Steel Institute. 1869	Janvier 1905	11	1 898	—	—	1 909
Institution of Electrical Engineers. . . . . (1)	1er Sept. 1904	6	1 101	1 435	1 761	4 303
Verein Deutscher Ingenieure 1856	Avril 1903	6	17 543	—	—	17 543
Société des Ingénieurs Civils de France. 1848	Janvier 1906	19	3 278	345	29 (2)	3 671

(1) Fondée en 1871 sous le nom de *Society of Telegraph Engineers and Electricians*.
(2) Ce chiffre est celui des Membres assistants.

américaine pour l'éclairage au gaz, la Société des Ingénieurs chimistes, l'Association des Sociétés d'éclairage Edison, etc. Ces sociétés trouveront dans le nouvel édifice des bureaux et des salles de réunion à leur convenance ;

3° L'hôtel contiendra nécessairement les bureaux d'administration des diverses sociétés fondatrices et associées. Au rez-de-chaussée, à droite de l'entrée sera un bureau d'information avec, comme annexes, téléphone, bureau télégraphique et bureau de poste auxiliaire. Au rez-de-chaussée, également, se trouve disposé un emplacement communiquant avec un monte-charge pour la réception des livres et objets divers et un autre d'où le charbon tombe dans des magasins placés dans le sous-sol, pour être employé au chauffage de l'édifice.

Un engagement conclu avec le propriétaire du terrain voisin à l'est interdit la construction sur ce terrain à plus de 18 m de hauteur ; on assure ainsi à ce côté de l'édifice la lumière et l'air au-dessus du troisième étage.

A l'ouest, le bâtiment a sa façade à 3 m de la limite du terrain, il en est de même sur la façade postérieure, de sorte qu'on pourra avoir sur ces côtés des ouvertures pour l'aérage et l'éclairage. La figure 1 donne l'aspect extérieur du bâtiment ; la figure 2, l'étage où se trouve la grande salle, et la figure 3, l'étage de la bibliothèque.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici les conditions dans lesquelles a été créée l'organisation dont nous nous occupons ici. Cette corporation a été établie par une charte spéciale de l'État de New-York, sous le titre de *United Engineering Society*. Elle est administrée par neuf membres, trois pour chaque société, élus par leurs comités d'administration ; ces membres sont chargés de la surveillance de l'hôtel et de son administration financière.

Les marchés, pour la construction, ont été passés en juillet dernier, et les travaux de fondation ont été commencés immédiatement ; la construction est en cours d'exécution, et doit être terminée au bout de quinze mois, soit en décembre 1906.

On trouvera ici deux tableaux donnant l'effectif des quatre grandes sociétés américaines et, à titre de comparaison, celui de quelques sociétés européennes, parmi lesquelles figure la nôtre. Ces tableaux sont, ainsi que les renseignements qui précèdent, extraits de l'*Engineering News*.

Conducteurs d'électricité au Niagara. — On établit en ce moment une ligne électrique qui ira des bords du Niagara au centre de l'État de New-York et qui sera la plus longue transmission qui existe en Amérique. Il y en a déjà deux de grande longueur, en Californie, mais leur capacité de transmission est beaucoup plus faible que celle de la nouvelle ligne. Celle-ci, établie par la Niagara, Lockport and Ontario Power Company, part de la rive canadienne du Niagara et traverse une partie de l'État de New-York jusqu'à Syracuse, sur une distance de 261 km.

Outre sa longueur, cette ligne présente une particularité intéres-

sante, c'est que les câbles sont en aluminium, chacun formé de dix-neuf fils n° 5.

Les conducteurs partent de la station de la Ontario Power Company, se dirigent vers le nord pendant 6,4 km et franchissent le Niagara au point situé sur la rive américaine et connu sous le nom de Trou du Diable. De la station au point de traversée du fleuve, les câbles sont supportés par des pylônes en acier en forme de trépied formés de tubes de fer de 64 millimètres de diamètre, remplis de ciment; ces pylônes reposent sur des fondations en béton descendues à 1,80 m dans le sol; ils ont 16,50 m d'élévation et, à une hauteur de 15 m, portent une traverse débordant des deux côtés. Ces supports sont établis à des distances d'environ 165 m; ils portent un câble à leur sommet, et un à chaque extrémité de la traverse, de sorte que la charge de chaque pylône se trouve également répartie.

Entre Niagara Falls et Lockport, la ligne a un droit de passage sur 150 m de largeur, et entre Lockport et Rochester, 61 m. Provisoirement, les câbles suivront la voie du West Skore R. R., entre Rochester et Syracuse, et seront portés par des supports en bois en forme d'A. il y aura environ 2500 de ces supports et 1 500 pylônes métalliques.

Les supports en bois auront 15 m de hauteur et seront distants de 67 m au lieu de 165 m, écartement des pylônes métalliques.

Au bord du Niagara, sur la rive canadienne, les câbles partant des supports métalliques portent d'abord sur les extrémités de consoles métalliques en encorbellement encastrées dans la paroi rocheuse et vont, de là, reposer sur des pylônes placés au bord de l'eau; il y a dans cette partie neuf câbles en aluminium qui franchissent la rivière sur 180 m de portée, jusqu'à des pylônes placés au bord de l'eau sur la rive de New-York. De ces pylônes, les câbles vont reposer sur des consoles semblables aux premières et de là sur des pylônes établis au haut de la falaise. Ils se dirigent ensuite sur Lockport où se trouve une station de transformation. La ligne passe ensuite par Gasport, Middleport, Medina, Albion, Holley, Spencerport et autres endroits pour arriver à Rochester; d'autres stations de transformation sont prévues sur le parcours.

Le courant est produit dans une station établie au bord de l'eau dans une gorge du coté canadien, c'est une construction en béton où l'eau est amenée d'une distance de 1 600 m environ par une conduite en tôle d'acier de 5,50 m de diamètre avec enveloppe en ciment. Cette conduite est masquée pour ne pas gâter l'aspect féerique du paysage. Cette conduite amène l'eau, à raison de 109 m³ à la seconde, sur le haut de la falaise d'où elle est conduite par des tuyaux en acier aux turbines; il y a huit de ces tuyaux qui sont placés dans des galeries creusées dans le rocher; six ont un diamètre de 2,70 et deux autres seulement 0,76 m. Les dynamos génératrices sont actionnées par des turbines doubles montées sur des axes horizontaux et écartées l'une de l'autre de 5,50 m, les conduites de 2,70 m se divisent en deux parties, une pour chaque turbine.

Il y a actuellement trois génératrices dont chacune a une puissance de 10 000 ch électriques et on en installe une quatrième de puissance un peu supérieure; ces machines produisent du courant triphasé à 12 000 volts avec 187 tours par minute.

Chaque génératrice avec sa turbine motrice double occupe un espace de 6,10 m × 15 m. La partie tournante de chacune pèse environ 82 t et le poids total de chaque appareil est de 200 t.

L'armature a un diamètre extérieur de 6.50 m et l'arbre 0,525 m.

La station dont nous nous occupons est la plus importante de celles qui existent sur la rive canadienne et on n'a rien négligé pour assurer son bon fonctionnement malgré certaines difficultés que présente cette position, notamment l'énorme afflux de glaces flottantes venant du lac Érié; on a pris toutes les précautions nécessaires pour que ces glaces ne puissent pas entraver la marche, on a établi dans ce but une digue de diversion. On a prévu une extension considérable de la station, où on compte établir encore deux conduites pour amener l'eau aux turbines à raison de 360 m³ par seconde en tout; il y aura un total de vingt-deux conduites d'amenée aux turbines.

C'est ce développement considérable de la production de l'électricité que la nouvelle ligne de transmission doit utiliser en la répartissant dans la contrée qu'elle va traverser. Si on considère que la puissance produite par le Niagara sur la rive américaine atteint déjà 100 000 ch électriques, on peut à première vue s'étonner qu'il faille encore recourir à de la force amenée d'au delà de la frontière pour alimenter l'ouest et le centre de l'État de New-York. L'expérience faite dans ce cas avec l'aluminium présente un très grand intérêt à cause des conditions dans lesquelles a été faite cette application. Ces renseignements sont extraits de l'*Iron Age*.

L'industrie du sel en Chine. — Les méthodes employées pour l'extraction du sel sur les côtes septentrionales de la Chine sont extrêmement anciennes et il en résulte qu'il est mis sur le marché d'énormes quantités de sel très impur. Il semble donc que les districts où s'exerce la fabrication du sel présentent un champ très vaste pour l'introduction d'appareils perfectionnés relatifs à cette industrie.

C'est sur cette côte, entre Tongku et Shanhaikuan et Nieuchwang que se fait le sel le plus souillé d'impuretés. Les méthodes d'extraction y sont partout les mêmes et sont identiques selon toute probabilité à celles qui étaient en usage lors du fameux voyage dans la Chine orientale exécuté par Marco Polo.

Le sel est extrait de l'eau de mer, qui est élevée au moyen de moulins à vent dans des bassins où elle s'évapore sous l'action des rayons du soleil. Sur une très grande distance de chaque côté de Tongku, la côte est plate et très peu élevée au-dessus du niveau des hautes mers, c'est là que sont établis les marais salants.

Un rapport du consul des États-Unis à Tientsin donne d'intéressants détails sur l'exploitation de ces marais. Les bassins d'évaporation sont établis sur des parties plates et donnent l'impression d'innombrables emplacements de tennis de grandes dimensions. Ils sont séparés les uns des autres par de petites levées en terre de 0,20 m de hauteur environ. Le fond est plat et comprimé au moyen d'un rouleau en pierre. On remplit ces bassins d'eau de mer sur une hauteur de 75 mm, l'évaporation de cette eau par la chaleur solaire se fait dans une durée de un à trois jours

et laisse une couche de sel au fond ; on enlève ce sel, on le met en tas, on fait de nouveau passer le rouleau et on remet de l'eau.

Ces bassins sont établis à 0,60 m environ au-dessus du niveau des hautes mers ; ils sont groupés un certain nombre ensemble de manière à être desservis par la même pompe centrale. Le sol est autour coupé dans toutes les directions par de petits canaux qui aboutissent à un magasin général situé au bord d'une rivière ou près d'une gare de chemins de fer. Le sel, à mesure qu'il est enlevé du bassin est jeté à la pelle dans de petits bateaux qui le conduisent aux magasins dont il vient d'être parlé, où il est mis en tas couverts de nattes jusqu'à ce qu'on le porte au marché de Tientsin pour être vendu.

Les moulins à vent qui servent à remplir les bassins d'eau de mer sont disposés d'une manière très ingénieuse et qu'on ne rencontre qu'en Chine. Ils sont constitués d'abord par un léger bâtis en bois de forme hexagonale porté par un axe central. Sur ce bâtis sont installés six voiles en étoffe de coton au moyen de vergues orientées de manière à placer les voiles sous un angle d'environ 45 degrés. A la partie inférieure de l'axe est une roue dentée qui engrène avec une roue analogue portée par un axe horizontal dont l'extrémité actionne une noria. Cette noria est formée d'une chaîne sans fin portant des plateaux de bois de 0,125 × 0,225 m qui circulent dans un tuyau de même section, ces plateaux sont à 0,22 m de distance les uns des autres. La base de ce conduit plonge dans l'eau de mer et la partie supérieure dépasse les levées qui séparent les bassins ; ce conduit peut avoir de 3 à 6 m de hauteur, en fait en général un angle de 20 degrés avec l'horizontale. Au-dessus la chaîne passe sur une sorte de tourteau à dents porté par l'arbre horizontal et les dents s'engagent dans la chaîne pour la faire mouvoir et les plateaux rectangulaires avec elle, ce qui produit l'élévation de l'eau dans le conduit.

Le volume d'eau élevé dépend naturellement de la vitesse de rotation du moulin à vent : il est de 4,5 à 22 m³ à l'heure. Ces moulins sont établis par groupe de trois ou cinq suivant l'importance de l'installation. On en compte environ 250 dans les salines des environs de Tientsin. On évalue la production à 700 t de sel par moulin et par an et comme les bassins ne fonctionnent pas par les temps de pluie ou par la gelée, on ne doit guère compter pour le travail effectif que la moitié de l'année. Les moulins ne réclament aucune surveillance et, étant d'une construction fort simple, ne demandent que très peu de réparations.

La fabrication et la vente du sel sont un monopole du Gouvernement et un monopole qui rapporte beaucoup. La position du chef de ce service à Tientsin est une des charges les plus lucratives qui existent en Chine. Les groupes d'installations d'évaporation sont la propriété de gens qui ont acheté du Gouvernement un permis pour les établir. Tout le sel fabriqué est livré aux dépôts de l'État qui le paye à un prix très peu supérieur aux frais d'extraction.

Il y a à Tientsin quatre dépôts de sel, dans chacun desquels il passe environ 100 t de sel par mois. Sur la production de sel de la région de Tongku, 80 000 t environ sont consommées dans la province de Chikli et 76 000 dans la province de Honan. Sur la côte nord de la Chine, on fait aussi de très grandes quantités de sel autour des villes de Louchow.

Changli et Shanhaïkuan. La production annuelle dans la région de Tongku est d'environ 160 000 t, dont 80 000 pour la province de Chikli, 75 000 pour celle de Honan et 5 000 pour les environs de Tientsin.

Jusqu'à ces dernières années, il n'y avait pas de taxe gouvernementale sur le sel vendu dans les districts. Ces renseignements sont extraits du *Journal of the Society of Arts*.

L'industrie chimique aux États-Unis. — Dans une étude récente sur les progrès réalisés dans ces dernières années aux États-Unis dans la fabrication des produits chimiques, et les efforts faits par l'industrie américaine pour s'affranchir de la dépendance des industries européennes, étude parue dans la *Chemiker Zeitung*, le docteur F. Winteler fait observer qu'en 1895-96, l'importation des produits chimiques s'élevait à 48,3 millions de dollars et l'exportation à 9.1 millions, alors qu'en 1903-04, ces chiffres étaient devenus respectivement 65,3 et 15. Dans la dernière période, l'exportation seule des médicaments brevetés représentait une valeur de tout près de 5 millions de dollars.

L'énorme développement pris par la fabrication des matières explosives, le raffinage du pétrole, la préparation des matières colorantes artificielles pour lesquels l'emploi de l'acide sulfurique fumant est nécessaire ont amené les fabricants américains à adopter les procédés catalytiques.

Alors qu'en Europe, on conserve avec soin le secret des dispositions employées, les visiteurs de l'Exposition de Saint-Louis pouvaient voir fonctionner les appareils pour la préparation de l'acide sulfurique anhydre.

Le docteur Winteler décrit l'installation de la *Contact process Cy* qui a adopte les méthodes des Vereins Chemischer Fabriken, de Mannheim, méthodes qui utilisent la chaleur produite par le grillage des pyrites et l'action catalytique exercée par l'oxyde de fer résidu du grillage. Dans cette méthode, l'élimination de l'acide arsénieux et des substances que les gaz sulfureux entraînent mécaniquement avec eux s'opère en grande partie par ces résidus, lesquels jouent le rôle de filtres et d'agents d'épuration. Mais, comme la transformation en anhydride sulfurique n'est pas complète et ne dépasse pas 50 à 60 0/0, il est nécessaire de diriger finalement les gaz sur de l'éponge de platine comme dans l'ancien procédé de Winkler.

La faculté que possède l'oxyde de fer de provoquer la transformation de SO_2 en SO_3 au moyen de l'oxygène de l'air, repose sur le fait que les gaz provenant du grillage des pyrites se trouvent déjà à la température de 650 à 700 degrés C., température qui est la plus favorable pour l'action catalytique et aussi à la transformation au contact de l'oxyde de fer de l'acide arsenieux des gaz en arseniate de fer. Comme la présence de l'eau fait obstacle à la production de l'anhydride sulfurique, il est nécessaire de dessécher, aussi parfaitement que possible, l'air qui alimente les fours de grillage des pyrites.

Le premier appareil construit pour réaliser cette méthode traitait 3 000 kg de pyrites pour produire de 3 700 à 3 770 d'acide sulfurique calculé à 100 0/0. Les gaz chauds, après avoir traversé l'oxyde de fer,

étaient refroidis et l'anhydride sulfurique qu'ils contenaient se condensait dans de l'acide sulfurique à 96 0/0.

Pour transformer le reste de l'acide sulfureux en SO_3, on réchauffait les gaz de 540 à 560 degrés et on les faisait passer sur un mélange d'amiante et de platine.

Dans une usine de Buffalo, on obtient par ce procédé un acide fumant qui contient de 20 à 25 0/0 d'anhydride sulfurique.

Les gaz qui sortent de l'appareil contiennent encore 0,5 0/0 d'acide sulfureux et les constructeurs garantissent un rendement de 92 0/0 du soufre contenu dans les pyrites. Dans la fabrique de Mannheim, ce rendement atteint 94 à 95 0/0.

Les fours pour la production de l'acide sulfureux se composent de compartiments munis de grilles dont chacun reçoit par jour 375 kg de pyrite, les charges se font toutes les deux heures. Comme il est très important que la composition des gaz soit toujours la même, l'alimentation doit se faire avec la plus grande régularité.

La hauteur de la couche de pyrite sur la grille dépend de la nature du minerai qu'on emploie. Pour la dessiccation de l'air servant au grillage, on se sert d'acide sulfurique monohydraté, car l'acide concentré ordinaire ne retient pas entièrement l'eau. La quantité d'acide employé n'est pas négligeable ; si on suppose une quantité d'eau maxima de 12 g par mètre cube d'air, pour griller 3000 kg de pyrites, il faudra 13300 m³ d'air par 24 heures, lesquels renfermeront 159,6 kg d'eau. Il est facile de comprendre qu'il est économique de faire sécher préalablement les pyrites en les laissant un temps suffisant exposés au-dessus des fours. L'air est aspiré par un ventilateur placé derrière les tours de condensation et sa marche est réglée de façon que les gaz contiennent de 7 à 7,5 0/0 d'acide sulfureux. Il est bon de dire que, dans quelques fabriques, d'après des études récentes sur les conditions d'équilibre des gaz dans la réaction, on travaille avec un excès d'air.

Dans la fabrique de Buffalo, on traite des pyrites de Rio-Tinto qui contiennent 48 0/0 de soufre et une quantité de cuivre qui renferme en combinaison 3,5 de soufre. Les gaz provenant du grillage de ces minerais traversent de bas en haut des tours remplies de pyrite en morceaux qui fonctionnent comme matière catalytique. Après cette action, les gaz contenant de l'anhydride sulfurique formé par elle sont refroidis dans des tubes en fonte rafraîchis à l'extérieur par un courant d'eau. A ce sujet, le docteur Winteler estime que les crevasses qu'on voit fréquemment se produire dans ces tubes au point d'arrivée des gaz chauds sont dues à la décomposition de la fonte par l'acide carbonique lequel se transforme à haute température en oxyde de carbone en empruntant le carbone à ce métal, mais on peut aussi les attribuer aux inégalités de dilatation entre les surfaces intérieures et extérieures des tuyaux

La condensation s'opère dans des tours aussi en fonte, remplies de fragments de quartz et disposées de manière que les gaz suivent une direction opposée à celle de l'acide à 96,98 0/0, qu'on fait couler goutte à goutte à l'intérieur des tours, au nombre de trois en commençant par la dernière pour arriver à la première. A la suite de l'appareil où s'effectue l'action catalytique, il y a encore deux tours, cela pour enrichir encore

l'acide sulfurique en anhydride, on règle l'alimentation de ces tours de telle sorte que l'acide insuffisamment concentré passe d'un système à l'autre jusqu'à ce qu'il arrive à contenir 25 à 28 0/0 d'anhydride sulfurique. Il n'est pas à conseiller de dépasser cette proportion, parce que l'acide plus concentré peut se solidifier et amener des obstructions.

Comme on l'a indiqué plus haut, l'oxyde de fer ne convertit que 50 à 60 0/0 de l'acide sulfureux des gaz en acide sulfurique, et on doit faire passer ces gaz encore sur de l'éponge de platine. Il est nécessaire de les dépouiller des dernières trace d'arsenic et d'anhydride sulfurique qu'ils contiennent; à cet effet, on leur fait traverser une couche de scories basiques de hauts fourneaux réduites en fragments de la grosseur d'une lentille. La chaux qui y est contenue absorbe les dernières traces d'acide monohydraté qui font obstacle à l'action catalytique.

A propos de l'effet fâcheux de l'arsenic, le docteur Winteler rapporte qu'à l'époque où furent faites les premières applications industrielles du procédé catalytique pour la préparation de l'acide sulfurique anhydre, c'est-à-dire en 1877, un journal allemand, la *Deutsche Industrie Zeitung*, disait que les difficultés rencontrées provenaient de l'élimination incomplète de ces éléments et publiait une lettre adressée par une maison bien reconnue à la Société badoise pour la fabrication de l'aniline et de la soude, lettre indiquant que les cercles techniques connaissaient parfaitement la nécessité d'éliminer l'arsenic et que le succès qu'avait obtenu la fabrication de l'acide sulfureux liquide tenait en grande partie à ce que ce produit était livré très pur.

Le mélange gazeux, après avoir subi l'épuration dont nous venons de parler doit être chauffé à 540-560 degrés pour que l'acide sulfureux puisse être converti en acide sulfurique. A cet effet ils circulent dans des tubes en fonte disposés au-dessus de la colonne contenant les résidus de pyrites qui fonctionnent comme agents catalytiques et passent après sur un foyer spécial avant d'arriver sur le mélange d'amiante et de platine. Pour que les gaz éprouvent le moins de résistance possible, l'amiante platinée est façonnée sous forme de treillis ; la pression correspondant à cette résistance n'est que de 3 cm d'eau.

Dans l'installation faite à Buffalo, il y a 30 treillis donc chacun contient 25 g de platine précipité.

Ces treillis sont disposés dans une caisse en fer ; les gaz entrent par la partie inférieure et, après avoir traversé les treillis, sortent par le haut. Le platinage de l'amiante se fait par la méthode indiquée par le professeur Winkler, qui consiste à imbiber l'amiante d'une solution rendue alcaline de chlorure de platine dont on opère la réduction par le formiate de soude.

Il faut environ 750 g de platine pour une production journalière de 1 450 kg d'acide sulfurique.

A partir de la mise en marche des appareils, les treillis d'amiante se recouvrent de poussières provenant des scories que les gaz entrainent mécaniquement avec eux ; il est nécessaire de les laver, de temps en temps avec une solution d'acide chlorhydrique à 2 0/0. Dans cette opération et aussi par l'effet du passage des gaz, il se produit une perte sensible de platine, perte qu'on peut évaluer à 5 mg par 100 kg d'acide

produit. L'amiante éprouve aussi une altération assez sensible et il est nécessaire de la renouveler à peu près tous les ans.

La condensation de l acide s'opère comme précédemment en refroidissant d'abord les gaz avant de les diriger vers les tours alimentées d'une manière méthodique par de l'acide sulfurique concentré. Les gaz contiennent encore 0,5 0/0 d'acide sulfureux et 10 à 11 0/0 d'oxygène, mais les pertes en acide sulfureux peuvent être plus grandes si la filtration à travers l'amiante se fait mal ou si la température est supérieure ou inférieure à celle qui est le plus favorable pour la réaction. ou enfin si la quantité de platine, avec lequel les gaz viennent en contact, se trouve insuffisante.

Winteler affirme que la fabrication ne présente aucune difficulté, mais ce procédé comparé à la méthode des chambres de plomb, présente l'inconvénient de donner un produit de couleur foncée, c'est ce qu'on reproche aussi à l'acide de la fabrique badoise d'aniline et de soude et celui de la General Chemical Cy.

Le coût de production à Buffalo rapporté aux 100 kg d'acide monohydraté est le suivant, non compris l'intérêt sur le capital engagé, l'amortissement et les droits de brevets pour l'usage du procédé :

Livres 7 000 de pyrites à doll. 7,65 par tonne . $	24,36
— 900 de charbon à doll. 1, 35 par tonne .	0,54
Main-d'œuvre	11,76
Dépenses diverses	5,00
Manutention 10 0/0	4,17
TOTAL pour 8 260 livres d'acide	45,83

soit par 100 livres, dollars 0,554, ce qui, traduit en mesures françaises, donne 6,30 f par 100 kg.

Au Simplon. — La Commission géodésique suisse vient de terminer un travail d'un grand intérêt scientifique au tunnel du Simplon. Elle a mesuré, au travers du tunnel, une base géodésique, en employant des fils d'acier au nickel « Invar» de 24 m de longueur. Ce travail a été grandement facilité par l'obligeance de la direction des chemins de fer fédéraux et par la précieuse collaboration de M. Ch. Ed. Guillaume, directeur-adjoint au bureau international des poids et mesures à Sèvres.

Cette entreprise comportait la mesure aller et retour de la longueur du tunnel, soit 40 km. La grande longueur de cette base qui dépasse toutes les autres bases géodésiques européennes, lui donne un intérêt particulier augmenté par le fait que ses deux extrémités sont séparées par un important massif montagneux. La durée très restreinte pendant laquelle le tunnel pouvait être mis à la disposition de la Commission exigeait une organisation permettant d'avancer très rapidement. Le travail entier était achevé en cinq jours, ce qui constitue un record de vitesse dans la mesure précise des bases.

L'opération a été poursuivie par trois équipes d'Ingénieurs dirigés par MM. les professeurs Gautier, Riggenbach et Rosenmund, et qui, à l'exception d'une nuit de repos, se sont relayés sans interruption de huit heures en huit heures.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

FÉVRIER 1906.

Rapport de M. A. MOREAU, sur **les échafaudages rapides.**

On emploie depuis quelque temps un système d'échafaudages rapides caractérisé par l'usage d'échelles verticales de 8 à 14 m de longueur qui s'assemblent les unes aux autres avec leur plan perpendiculaire à la façade du bâtiment; ils sont ensuite contreventés par des croix de Saint-André; cet ensemble est fort léger d'allure et néanmoins d'une grande solidité. La fixation à la paroi de l'édifice a lieu sans percer de trous dans les murs, au moyen de bras horizontaux boulonnés sur les échelles et assemblés sur des vérins transversaux qui se fixent dans les tableaux des baies. Les principaux avantages du système sont : la solidité, l'économie, la sécurité et surtout la rapidité extraordinaire avec laquelle on le met en place.

Ce système d'échafaudages a reçu de très nombreuses applications en Allemagne; on s'en est servi à Paris, à la gare Saint-Lazare et à l'église de la Trinité.

Rapport de M. C. VINCENT, sur **l'appareil évaporatoire de M. Kestner.**

Cet appareil permet de réaliser une grande économie de combustible dans l'évaporation des liquides industriels les plus divers; il peut être à simple effet ou à effets multiples, être chauffé par un foyer direct ou par la vapeur.

Le principe consiste à chauffe (par la vapeur par exemple) l'extérieur d'un faisceau tubulaire vertical à dilatation libre dont les tubes débouchent par le haut dans une chambre, et communiquent par le bas avec une capacité contenant le liquide à évaporer; la vapeur produite dans ces tubes entraine le liquide et le projette contre une turbine fixe contenue dans la chambre supérieure, le liquide prend par suite un mouvement de rotation très rapide qui le sépare de la vapeur; on peut mettre plusieurs de ces appareils à la suite les uns des autres.

Dans un système de ce genre à sextuple effet, M. Kestner a obtenu une évaporation de 5 kg d'eau par kilogramme de vapeur fournie, c'est donc une évaporation de $5 \times 8 = 40$ kg d'eau par kilogramme de charbon brûlé dans un générateur fournissant 8 kg de vapeur par kilogramme de charbon brûlé.

Industrie et commerce de la locomotive, par M. L. Le Chatelier.

Dans cette conférence faite, le 26 janvier 1906, à la Société d'Encouragement, l'auteur étudie les conditions de production des locomotives dans les diverses contrées d'Europe et aux États-Unis et fait voir les difficultés que rencontrent sous ce rapport les fabriques françaises, difficultés dont les principales sont : l'amplitude énorme des variations qui se produisent d'une année à l'autre, dans l'importance des commandes, variations que mettent en évidence des tableaux graphiques et la faiblesse absolue des chiffres de ces commandes. Ainsi la moyenne des commandes annuelles qui ressort de ce diagramme, représente seulement la moitié du chiffre auquel les chemins de fer de l'État belge ont plusieurs fois fixé leurs commandes annuelles dans ces dernières années. La commande annuelle de l'État prussien est d'environ mille locomotives en moyenne, soit au moins quatre fois la capacité de production de l'industrie française.

L'explication que donne l'auteur des causes de cette infériorité sont assurément curieuses, nous ne savons pas si elles seront admises par tout le monde, en tout cas nous renverrons les personnes que la question intéresserait particulièrement à la conférence de M. Le Chatelier.

L'auteur prend comme exemple, c'est facile à comprendre, la fabrication des locomotives aux ateliers de la Société Française de Constructions Mécaniques et donne d'intéressants détails appuyés de tracés graphiques.

Il étudie ensuite le commerce des locomotives à l'intérieur et à l'extérieur; ce dernier présente des conditions particulières où deux facteurs surtout jouent un rôle important : les délais de livraison et les prix. Un seul exemple suffit pour signaler les difficultés qu'éprouvent les usines françaises dans le premier point. En Angleterre et en Allemagne, les tôles de longerons et de chaudières peuvent, comme règle, être obtenues des forges dix jours après la commande. En France il faut compter six semaines ! Quant au prix, l'auteur estime qu'avec les développements qu'on peut attendre de la métallurgie française, les usines pourront accepter les prix qui suffisent à la concurrence anglaise ou allemande.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

On trouve dans ces notes les sujets suivants : Explosion de mélanges d'air et de poussières. — Constitution des rosanilines et la cause de la coloration. — Oxydation électrolytique de l'ammoniaque. — Préparation électrolytique de l'étain spongieux. — Études chimiques sur la porcelaine de Naples. — Sur le granite-asphalte. — Sur l'empois d'amidon. — Sur l'analyse des alcools industriels. — Sur la dose mortelle du chloroforme, etc.

Notes économiques, par M. Alfassa.

L'auteur continue à traiter la question de la suppression de la céruse et s'attache à discuter le rapport de M. Treille à la Commission du Sénat sur la proposition de loi votée par la Chambre des Députés.

Notes de mécanique. — Nous trouvons dans ces notes : une étude sur les diagrammes de torsion des arbres d'hélice, une sur les phénomènes d'électrolyse dans les compteurs d'eau, une note sur la formation de fissures dans les tôles de chaudières et une sur la détermination expérimentale du centre de rotation le plus favorable des aubes des vannages des turbines.

ANNALES DES MINES

11e livraison de 1905.

Étude sur **la condition des ouvriers des mines en Australasie,** par M. E. Glasser, Ingénieur des Mines *(suite et fin).*

Nous ne pouvons essayer de suivre l'auteur au cours du développement de cette étude très remarquable et fortement documentée sur la condition des ouvriers des mines en Australasie, nous nous bornerons a indiquer l'esprit de ses conclusions. Si les ouvriers des antipodes sont mieux partagés que leurs frères d'Europe au point de vue de la durée du travail et des salaires, il ne semble pas qu'ils se montrent plus satisfaits de leur sort et ils ne mettent pas moins d'acharnement et d'âpreté à en réclamer l'amélioration. Ce n'est donc pas, selon l'auteur, dans ces pays lointains que nous pourrions aller prendre exemple pour résoudre les graves problèmes que les questions ouvrières posent dans l'industrie extraction, et ce ne sont ni les syndicats ouvriers, bien mieux organisés et bien plus puissants que chez nous, ni l'institution de l'arbitrage obligatoire qu'on a voulu représenter comme une panacée universelle en la matière, qui ont résolu le difficile problème de l'accord entre le capital et le travail dans l'exploitation des mines.

La nouvelle **méthode d'exploitation des ardoisières du bassin de l'Anjou,** par M. Anglès-Dauriac, Ingénieur des Mines.

L'industrie des ardoisières de Maine-et-Loire et de la Mayenne intéresse un personnel de 6500 ouvriers, dont le salaire dépasse 7 millions de francs et dont la production atteint le chiffre de 185 000 t d'ardoises d'une valeur de plus de 16 millions de francs. Les méthodes d'exploitation ont été longtemps très primitives et particulièrement meurtrières; si les tentatives d'amélioration de ces méthodes datent de loin, ce n'est que dans le cours des dernières années qu'elles ont abouti à l'élaboration d'une méthode régulière, aujourd'hui admise en principe, sinon encore intégralement appliquée, par toutes les Sociétés exploitantes.

La nouvelle méthode qui réalise, au point de vue de la sécurité du personnel, un progrès notoire, n'en réalise pas un moindre sous le rapport de l'organisation rationnelle et économique de l'exploitation.

Sans entrer dans des détails sur ces modes d'exploitation, nous nous bornerons à indiquer sommairement que, tandis que le principe de toutes les anciennes méthodes est celui de la méthode *descendante* ou méthode par gradins droits, celui de la nouvelle repose sur l'abatage par gradins inverses, c'est donc une méthode *montante.*

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

MARS 1906.

DISTRICT DE PARIS.

Reunion du 9 novembre 1905.

Communication de MM. BEL et SCHUHLER, sur **les groupes électrogènes à l'Exposition d'Arras** (1904).

Les groupes électrogènes décrits, qui avaient pour objet d'assurer le service de l'éclairage, des tramways et moteurs divers, étaient au nombre de sept, savoir : 1° un groupe électrogène à chaudières Babcock et Wilcox, moteur Dujardin de 300 ch et dynamo Thomson-Houston; 2° un groupe constitué par un gazogène Riché et des appareils Dupleix-Allioth; 3° un groupe formé par un gazogène Delion et Lepeu et un groupe Dupleix-Gramme; 4° un groupe comprenant un gazogène Fichet-Heurtey et un moteur alternateur Westinghouse; 5° un gazogène Hovine et Breuille avec moteur de la Société Française de Constructions Mécaniques et dynamos Schneider et 6° un groupe Sautter et Harle formé d'une turbine Rateau actionnant directement une dynamo de 100 kilowatts. Ces divers groupes sont décrits sommairement.

Communication de M. MALLERET, sur **l'Art des Mines à l'Exposition de Liège.**

Ce compte rendu sommaire porte sur l'exposition minière belge, l'exposition minière française, l'exposition minière allemande et celle des autres États, savoir Espagne, Angleterre, Russie, Canada, Japon, etc.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 10. — *10 mars 1906.*

Notice nécrologique sur A. von Borries.

Méthode Rateau pour l'utilisation de la vapeur d'échappement des machines à marche intermittente, par A. Heiler.

Machine à tailler les pignons de la fabrique de machines, précédemment Ducommun, à Mulhouse, par M. Fischer.

Les constructions élevées aux États-Unis, par F. Bohny *(suite)*.

Expériences sur la résistance des plateaux de pistons, par C. Bach.

Exposition universelle de Liège. — Les machines-outils, par G. Schlesinger *(suite)*.

Groupe de Bavière. — Comptabilité et prix de revient.

Groupe de Berlin. — Transport des minerais dans les Cordillères au moyen de funiculaires.

Groupe de Dresde. — Fabrication du graphite artificiel.

Groupe d'Alsace-Lorraine. — Les courants alternatifs à haute tension et les précautions à prendre pour leur emploi.

Groupe de Mannheim. — Chute du pont sur le Neckar, à Heidelberg.

Bibliographie. — Nouveaux moteurs thermiques, par E. Josse.

Revue. — La ligne Nord-Sud n° 4 du Métropolitain parisien. — Automobile pour chemin de fer de la Wolseley Tool and Motor Company.

N° 11. — *17 mars 1906.*

Les établissements d'électricité de la Cité de la Charing-Crosss Company, à Londres.

Les constructions élevées aux États-Unis, par F. Bohny *(fin).*

Exposition universelle de Liège. — Les machines-outils, par G. Schlesinger *(fin).*

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Procédé Goldschmidt de soudure par la thermite.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Épuration des eaux potables par l'ozone.

Groupe de Hanovre. — Nouvelles méthodes de travail dans la construction des machines.

Revue. — Exposition internationale automobile à Berlin en 1906. — Expériences sur une installation de moteurs Diesel à Munich.

N° 12. — *24 mars 1906.*

Expériences sur la protection des installations électriques contre la foudre, par H. Hoffmann.

Les établissements électriques de la Cité de la Charing-Cross Company de Londres *(fin).*

Développement des locomobiles système R. Wolf aux points de vue techenique et commercial, par K. Heilmann *(suite).*

Les treuils à vapeur et leur changement de marche au moyen d'un tiroir, par Ilyen.

Nouvel appareil Orsat pour l'analyse des gaz, par Bondemann.

Le chemin de fer sibérien, par F. Thiess.

Groupe de Hanovre. — Les chaudières et les matériaux pour leur construction.

Groupe de Carlsruhe. — Équilibrage des parties tournantes des machines.

Groupe de Cologne. — L'objet de la métallographie.

Groupe de Lausitz. — Les conditions de travail de l'ouvrier américain dans l'agriculture et l'industrie.

Bibliographie. — Les méthodes d'approximation dans les mathématiques, par O. Biermann. — Étude dans le domaine de la mécanique industrielle, par O. Moor. — Théorie, calcul et construction des régulateurs dans les volants, par J. Finkel.

Revue. — Travaux des établissements royaux d'essais des matériaux en 1904. — Essais de rendement sur une voiture automobile système Westzer. — Éprouvettes d'essai en béton. — Le train dit Atlantic City express du Philadelphia and Reading Railroad. — Les écoles techniques supérieures de l'empire d'Allemagne dans l'exercice 1905-06. — Le secrephone.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. MALLET.

BIBLIOGRAPHIE

IVe SECTION

Étude industrielle des alliages métalliques, par M. L. Guillet (1).

Les travaux personnels de M. Guillet lui ont acquis une brillante réputation dans le monde scientifique, tant par leur importance que par la rapidité avec laquelle ils ont été conçus et exécutés. L'un des derniers venus sur le champ de travail de la métallurgie scientifique, où l'école française est au premier rang avec MM. Osmond, H. Le Chatelier, Ch.-Ed. Guillaume et beaucoup d'autres, M. Guillet y occupe déjà une place très considérable. Grâce à un labeur incessant et à une bonne fortune presque sans précédent, il a réussi à accumuler en un à deux ans un véritable monceau de faits de nature à étendre beaucoup le domaine de la science métallurgique.

Mais ce n'est pas à un exposé de ses beaux travaux scientifiques que M. Guillet consacre le gros volume dont nous allons essayer de rendre compte. Profitant de sa situation de Directeur des laboratoires et sciences chimiques aux usines de Dion-Bouton et de ses attaches avec plusieurs sociétés métallurgiques, comme Ingénieur-conseil, il s'est donné cette fois pour tâche de traiter les questions qui intéressent plus particulièrement l'industrie. Zélé partisan d'une union plus intime des industriels et des savants pour la recherche des améliorations et la lutte contre les difficultés de la vie industrielle, il cherche à initier les premiers aux découvertes récentes de la science métallurgique et à faire connaître aux seconds les derniers progrès de l'industrie.

Ce sont deux camps dont les mentalités sont différentes. L'industrie sait bien qu'elle doit à la science la meilleure part de ses succès, elle accueille pourtant avec méfiance ses conceptionsnouvelles, et ne les fait vraiment siennes que lorsqu'elles ont été élaborées à nouveau et acclimatées par un long stage dans les milieux industriels. C'est qu'il y a souvent loin d'une idée même géniale ou d'une grande découverte à leur réalisation pratique. Le savant ne se rend pas compte suffisamment de la longueur du chemin qu'il laisse à parcourir : il ne se fait pas bien comprendre, il emploie des termes qui effarouchent et donnent à ce qu'il dit une allure pédante.

Le bel ouvrage de M. Guillet répond excellemment à ces objections; il sera lu et médité avec fruit par les bons esprits de l'un et l'autre camp. M. Guillet, qui a eu de brillants succès scientifiques, fait évidemment à la science une très grande place, la première, dans cette étude industrielle, mais il connaît les besoins de l'industrie et les diffi-

(1) In-8°, 255 × 165, de VIII-1170 p. avec 210 fig. et album micrographique même format de 110 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. Prix broché : 40 f.

cultés de la tâche d'initiateur; il a fait de grands efforts pour présenter sous une forme qui les rende facilement assimilables, des travaux et des théories quelque peu ardus au premier abord, il faut bien le reconnaître. Ses travaux personnels sont d'ailleurs parmi ceux qui ont contribué à rendre ces exposés plus clairs.

M. Guillet s'adresse aux industriels et aux savants; il est inutile de le présenter à ces derniers, ce sera donc plus particulièrement aux industriels que s'adresseront ces lignes, à ceux qui, absorbés par les préoccupations de leur tâche quotidienne, ont tendance à remettre à plus tard des études dont l'application leur paraît encore lointaine. Qu'ils fassent crédit à M. Guillet de quelques efforts, ils en seront récompensés.

Une des premières difficultés que rencontre cette initiation provient de la nécessité d'employer beaucoup de termes tout à fait inconnus du grand public. Il convient de remarquer que la science est obligée de forger de toutes pièces des mots pour baptiser ses conquêtes, c'est la meilleure constatation de leur existence; ces mots ont souvent un aspect un peu barbare. M. Guillet en emploie beaucoup, il faut en prendre son parti. Qu'est-ce en particulier que tous ces noms terminés en ite : ferrite, perlite, martensite, qui sont d'un usage constant en métallurgie du fer? Ce sont plutôt des termes de minéralogie, c'est l'illustration d'une idée très féconde de M. Osmond. En effet, il ne suffit plus d'étudier les métaux et les alliages dans leurs propriétés mécaniques : résistance et allongement à la rupture, limite d'élasticité, il faut aller plus avant dans la connaissance de leur constitution intime, qui a pour conséquence ces propriétés. Or l'examen microscopique révèle qu'ils sont formés d'agrégats de cristaux comme certaines roches, le granit par exemple, et c'est faire un grand pas en avant que d'étudier séparément les propriétés de chacun de leurs constituants, au lieu de se borner à étudier leur ensemble. L'étude de ces constituants est un véritable travail de minéralogiste, or la terminaison ite est d'usage en minéralogie. La ferrite est le constituant fer pur, qui apparaît au microscope en polyèdres; la perlite est un constituant dont l'aspect nacré rappelle la perle; la martensite est dénommée d'après Martens, un des savants qui ont acquis de la célébrité dans cette science spéciale. Il est aussi d'usage en minéralogie de dédier les nouvelles découvertes à des savants connus en faisant suivre leur nom de la terminaison ite. De ces substantifs on a fait des adjectifs : perlitique, martensitique. Cette terminologie s'est révélée facile à retenir et d'un usage commode.

Le grand effort de la métallurgie scientifique se porte actuellement sur les lois de la constitution moléculaire des métaux et des alliages: M. Osmond a montré la voie en prenant pour objectif le cristal isolé, en étudiant la cristallographie du fer. Évidemment la propriété que possèdent les molécules des métaux de s'orienter pour former des cristaux, est une des lois fondamentales de leur constitution. Plusieurs des variations de leurs propriétés mécaniques sont simplement des conséquences des variations de grosseur de cristaux, de la grosseur du grain comme disent les praticiens; elle varie considérablement sous l'influence de la trempe ou du recuit. On remarquera combien importante est la place

faite par M. Guillet à ces traitements dits thermiques et aussi à l'écrouissage, par étirage ou compression à froid.

La texture à gros cristaux apporte de la fragilité au choc; il s'ensuit qu'une très faible proportion de nickel dissous dans le fer exerce une action bienfaisante très marquée en atténuant la grande tendance à cristalliser que possèdent les métaux purs.

Il est encore un ordre de phénomènes particulièrement difficile à faire entrer dans le domaine des connaissances usuelles, parce qu'il a pour base une notion inconnue des praticiens, si familiers qu'ils soient avec les propriétés des métaux, c'est celle des transformations allotropiques. M. Guillet en souligne, au contraire, l'importance presque dans chaque chapitre de son ouvrage, et tout particulièrement dans ceux qui sont relatifs aux aciers. Le fer peut exister non seulement à l'état α, celui qui est universellement connu, mais aussi à des états β et γ. M. Osmond a distingué ces états au moyen de lettres grecques, se conformant à l'usage en chimie pour la désignation des diverses variétés allotropiques d'un même corps. L'état γ, variété de fer non magnétique, est particulièrement intéressant; l'exposé de M. Guillet montre qu'il est la clef d'un grand nombre de phénomènes traités autrefois d'anomalies, vu leur allure imprévue, telle que l'acier qui s'adoucit par la trempe.

Autre notion de très grande importance, à laquelle M. Guillet fait de très fréquentes allusions : les éléments chimiques dont les alliages sont composés, peuvent y exister, soit à l'état de pureté simplement juxtaposés, soit à l'état de combinaison, soit à l'état de dissolution. Ainsi le carbone se trouve dans les aciers : 1° au premier état, sous la dénomination de graphite; 2° au second, à l'état de carbure de fer Fe_3C, sous le nom de cémentite; 3° au troisième état, dissolution du carbone dans le fer, sous les désignations : martensite, austénite, etc.

Le praticien n'aura pas à chercher longtemps pour retrouver dans sa pratique courante les phénomènes ainsi dénommés, c'est-à-dire revêtus de parures scientifiques, ayant pris des traits précis, qui les rendent bien plus facilement reconnaissables. Il s'y habituera comme aux termes de chimie d'un emploi courant pour les analyses, adoptés aussi bien dans la langue commerciale que dans la langue technique.

L'exposé de M. Guillet est accompagné d'un album de micrographies qui est une merveille. Jamais il n'a été publié rien qui approche de cette collection au point de vue du nombre, et qui la dépasse comme perfection. Jamais il n'a été donné au lecteur tant de facilités pour se familiariser avec les constituants des alliages. Il semble impossible que, vus ainsi sous beaucoup d'aspects divers, ils restent encore considérés par les praticiens comme de simples conceptions de savants. On les voit presque comme si on les tenait sous le microscope.

M. Osmond, M. H. Le Chatelier, M^me^ Curie, ont fait leurs beaux travaux sur un petit nombre d'échantillons qu'ils tenaient de la bienveillance de quelques directeurs d'usines amis de la science. Déjà M. Guillaume et nous-même avons pu en étudier davantage en les préparant à cet effet aux aciéries d'Imphy, M. Guillet en a fait préparer par centaines, variant à souhait les compositions chimiques de manière à mettre en évidence celles qui sont particulièrement typiques. C'est

donc un choix parmi toutes les micrographies qu'il a obtenues, classées méthodiquement, qui forme le superbe album de M. Guillet; cette collection est à notre connaissance unique au monde actuellement.

La métallographie semble être le procédé d'investigation préféré de M. Guillet, il n'a cependant pas négligé de procéder à des essais à la traction et au choc ou à la dureté, ainsi qu'à des essais chimiques; il n'omet pas les recherches de positions de points de transformation, de magnétisme, de coefficients de dilatation, etc. En effet, pour comprendre les théories qui constituent la science métallurgique à son état actuel, il est indispensable de réunir toutes les connaissances que donnent ces divers moyens d'études. Par contre, c'est probablement l'étude de la microstructure qui est le meilleur moyen pour amener rapidement un débutant à la connaissance des faits fondamentaux. C'est donc avec raison que M. Guillet a donné un si grand développement à cette partie de son étude.

Il sera bon de s'occuper d'abord des aciers en laissant de côté les fontes, produits plus complexes. D'autre part l'étude la plus simple n'est pas celle des aciers au carbone mais celle des aciers au nickel, parce que le nickel étant soluble dans le fer en toutes proportions reste à l'état de dissolution quelle que soit sa teneur. De plus sa présence favorise la dissolution du carbone. Au contraire, dans les aciers du carbone, le carbone est tantôt dissous, tantôt isolé à l'état de carbure ou de graphite. La trempe et le recuit modifient profondément l'état du carbone, tandis que les aciers à hautes teneurs en nickel sont toujours du type des aciers au carbone trempés.

Nous nous sommes efforcé jusqu'ici, non pas de résumer l'œuvre de M. Guillet, c'est impossible dans le petit espace dont nous disposons, mais plutôt de faire comprendre dans quel esprit elle est conçue. M. Guillet passe en revue tous les alliages imaginables, dont un bon nombre préparés pour la première fois par lui-même. La partie technologique est très développée, elle rend compte des dernières nouveautés, telles que les fours électriques.

La sidérurgie est très largement traitée, elle comprend les aciers spéciaux, notamment les aciers au vanadium qui n'ont guère été étudiés que par M. Guillet. La place faite aux bronzes et aux laitons est aussi très considérable.

Nous sommes contraints de renvoyer le lecteur aux tables des matières que M. Guillet a dressées avec un soin extrême, ce qui est très précieux en particulier pour les spécialistes à la recherche d'un renseignement dans cet amas de richesses. Ajoutons que des bibliographies très complètes sont placées à la fin de chaque chapitre, de sorte qu'il est facile de remonter aux sources.

En dire davantage nous entraînerait trop loin; il nous suffit d'avoir fait entrevoir au lecteur les trésors que ce beau volume met à sa portée dans des conditions de clarté et de méthode les meilleures qui aient été réalisées jusqu'ici.

L. Dumas.

Étude sur l'état actuel des mines du Transvaal. Les gîtes, leur valeur. Étude industrielle et financière, par George Moreau (1).

L'ouvrage de M. Moreau intéresse à la fois le voyageur, l'Ingénieur et le financier, et présente le Transvaal sous tous les points de vue : historique, géographique, politique, minier, financier et spéculatif.

On a beaucoup écrit sur cette contrée. Son histoire qui, selon la tradition, remonte aux temps reculés des pharaons égyptiens et dont témoignent encore des ruines nombreuses et gigantesques, a été écrite par divers auteurs, qui tous s'accordent à reconnaître qu'à ces époques lointaines on exploitait déjà des alluvions aurifères. Puis, pendant de longs siècles, un silence de mort plane sur ces régions jusqu'au moment où les Boers du Cap, fuyant la domination anglaise, en 1837, viennent s'établir entre le Waal et le Limpopo.

En 1864, un prospecteur anglais signale l'or à Tati et à Lydenburg ; et, en 1870, la découverte des gisements diamantifères de Kimberley provoque la prise de possession du Griqualand par les Anglais.

L'exploitation des mines d'or et de diamant se développe avec une grande rapidité et a pour conséquence la conquête de tout le pays par l'Angleterre, en 1902.

Les mines du Sud-Afrique sont bien connues ; elles ont fait l'objet d'une foule d'études techniques. M. Moreau les décrit brièvement en y ajoutant ses propres observations et les documents qu'il a recueillis sur place en 1905.

En ce qui concerne l'avenir, il se préoccupe de la possibilité d'exploiter les *deep levels*, c'est-à-dire la zone aurifère profonde de 1 200 à 1 800 mètres.

Les mines du Rand travaillent dans des conditions très diverses. Ainsi le prix de revient le plus bas, celui de la *Rose deep*, est de 21,50 f par tonne ; le plus élevé, celui de la *Roodeport Central deep*, est de 42,75 f. La première a traité, en 1904, un total de 262 471 t avec un bénéfice de 18,25 f par tonne, et la seconde 62 504 t seulement avec 2,75 f de bénéfice.

En ce qui concerne les deep levels, M. Moreau estime que, même en supposant l'énorme extraction de 600 000 tonnes annuelles, le profit ne semble pas devoir jamais dépasser 14 ou 15 f par tonne. Et, si l'on tient compte que, pour entreprendre une semblable exploitation, il faut un capital de 30 millions, que la mise en marche réclamera six ans de travaux de préparation et d'installation, créant, en intérêts et autres, une charge de 7 500 000 f, on constate que le premier capital à rémunérer est de 37 500 000 f. D'autre part les apports prendront au moins 30 millions, ce qui suppose un capital social de 70 millions environ avec un bénéfice de 8 à 9 millions, soit 12 0/0. Un semblable rendement est insuffisant,

(1) in-8° 250 × 160 de IV-218 p. avec 48 fig. Paris, Ch. Béranger, 1906, prix relié 7,50 f.

sans compter qu'il est un peu problématique car on n'arrivera jamais à traiter 600 000 tonnes, et d'ailleurs les mines du Rand sont soumises à toutes sortes d'aléas au point de vue de l'exploitation, des teneurs, de la main-d'œuvre, etc.

M. Moreau considère les deep levels les plus profonds comme des affaires possibles, sous les réserves suivantes :

1° Les combinaisons financières seront telles que le capital nominal puisse recevoir 15 0/0 pendant vingt ans.

2° Les actions seront souscrites au pair.

Malheureusement ces conditions sont irréalisables : on sait, en effet, comment se lancent ces sortes d'affaires.

Les Ingénieurs ayant estimé qu'il faut un *working capital* de £ 200 000, les fondateurs créent une Société au capital de £ 400 000, dont la moitié *au moins* en actions d'apport dont la répartition est cachée à l'actionnaire.

D'abord, on n'appelle que £ 50 000 par exemple ; ces titres sont souscrits au pair par le groupe qui *flotte* l'affaire et qui, en même temps, prend une option sur 50 000 autres livres à souscrire avec une prime de 5 à 12 shillings. « Alors un marché s'établit ; Gogo se dit que si » le *magnat* initial a des options avec des primes, c'est que l'affaire est » excellente et il achète les £ 50 000 de la première émission avec une » surprime qui, celle-là, va dans la poche du lanceur... Quand on ap- » pelle les autres séries de £ 50 000, on peut être sûr que la prime sur » le marché dépasse celle consentie par l'optionnaire. Celui-ci lève les » titres et les écoule au public. La Société encaisse par titre une livre, » plus le montant de l'option initiale, et le lanceur profite de la » différence.

» C'est grâce à des manœuvres de ce genre, *habilement* menées et » démesurément chauffées, que les marchés européens ont payé £ 10 » des titres qui n'en valaient que 4.

» Quelquefois, l'opération ne réussit pas, le public ne *mord* pas. » Alors on ne lève pas les options échelonnées et, pour éviter le » paiement complet des £ 50 000 initiales, on liquide ou bien on *s'amal-* » *game* avec une affaire ayant une réputation possible, de façon à éta- » blir une moyenne. »

C'est ainsi que la spéculation, par des majorations absurdes et des manœuvres éhontées, déprécie les meilleures affaires de mines.

En 1904, sur 72 mines en exploitation, 33 seulement ont donné des dividendes ; et on comptait 71 anciennes affaires ayant cessé de travailler. Parmi celles-ci, quelques-unes ont subi divers avatars et cherchent à retrouver le bénévole actionnaire en changeant de nom, en se transformant, ou encore en fusionnant avec quelques malheureux débris d'une ou plusieurs autres Sociétés non moins éphémères.

Un intéressant chapitre à lire est celui où M. Moreau cherche à établir la véritable valeur d'un titre et à solutionner ce difficile problème :

Une affaire pouvant durer N années et payant actuellement un dividende D 0/0, quelle est la valeur réelle de son titre ?

En somme, M. Moreau a fait œuvre utile et bonne. Il complète les livres trop techniques de ses devanciers par l'étude des Sociétés minières du Witwatersrand, de leurs titres et de leur avenir. L'ouvrage est honnête et franc : il mérite le succès.

P.-F. Chalon.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 5828-3-06. — (Encre Lorilleux)

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'AVRIL 1906

N° 4.

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois d'avril 1906, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Chemins de fer et Tramways.

BROCHET (M.). — *Le réseau des chemins de fer colombiens de Bogota à l'Atlantique et le port de Bahia-Honda.* Rapport général sur l'entreprise des voies ferrées colombiennes et du port de Bahia-Honda, par M. Maurice Brochet (Concessions André Lefebvre et Maurice Brochet) (in-4°, 325 × 245 de 171 p. avec 8 phot. et 1 carte). Angers ; Paris, G. Lenormand, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44385

PÉRISSÉ (S.). — *Explosion d'une chaudière de locomotive aux abords de la gare Saint-Lazare, à Paris*, par M. S. Périssé. (Extrait du Bulletin de janvier 1906 de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale) (in-4°, 270 × 220 de 28 p. avec 6 fig.). Paris, Philippe Renouard, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44396

Rapid Transit in New-York City and other Great Cities. Prepared for the Chamber of Commerce of the State of New-York by its special Committee on recognition of services of Members of the Chamber on the Rapid Transit Commission 1905 (in-4°, 253 × 200 de 295 p. avec illust. et pl.). New-York, The Chamber of the State of New-York, 1906. (Don de M. J.-F. Sorzano, M. de la S.). 44369

Chimie.

ARNAUD (D.) et FRANCHE (G.). — *Manuel de céramique industrielle*, par D. Arnaud et G. Franche (in-8°, 210 × 135 de IX-674 p. avec 306 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs). 44392

SCHWEIZER (V.) et MURAOUR (H.). — *La distillation des résines et les produits qui en dérivent*, par Victor Schweizer. Traduit de l'allemand par Henri Muraour (in-8°, 225 × 140 de 242 p. avec 67 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs).

44396

Construction des Machines.

BARBEZAT (A.). — *La turbine à gaz*, par Alfred Barbezat. (Extrait du N° 9. Tome XLIV de la Schweizerische Bauzeitung) (in-8°, 225 × 155 de 16 p. avec 5 fig.). Paris, 1904. (Don de l'auteur, M. de la S.).

44387

BARBEZAT (A.). — *Note sur le rendement des turbines à gaz*, par Alfred Barbezat. (Extrait de L'Éclairage électrique du 19 novembre 1904) (in-4°, 270 × 220 de 8 p. avec 2 fig.). Paris, L'Éclairage électrique, 1904. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44385

CANOVETTI (C.). — *Studio di un motore a idrocarburo con applicazione della Turbina « Laval »*, per C. Canovetti. (Estratto dal Periodico Il Politecnico, 1905) (in-8°, 250 × 170 de 25 p.). Milano, Tipografia e litografia degli Ingegneri, 1905. (Don de M. Sekutowicz, M. de la S.). 44371

DWELSHAUVERS-DERY (V.). — *Quelques antiquités mécaniques de la Belgique*, par V. Dwelshauvers-Dery. (Extrait des Actes du Congrès international de Liège, 1905. Section de Mécanique appliquée) (in-8°, 255 × 165 de 195 p. avec fig. et pl.). Trooz (Station), Imprimerie Jules Massart, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.

44401

PARNIKE (A.) et CAMPAGNE (Ém.). — *L'appareillage mécanique des industries chimiques*. Adaptation française de l'ouvrage de A. Parnike. Die Maschinellen Hilfsmittel der Chemischen Technik, par Ém. Campagne (in-8°, 255 × 165 de VI-356 p. avec 298 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs).

44367

Éclairage.

VEBER (A.). — *L'Éclairage*, par Adrien Veber (Bibliothèque des Services publics, municipaux et départementaux) (in-8°, 210 × 135 de II-340 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs). 44398

Économie politique et sociale.

CACHEUX (E.). — *Intervention des Municipalités dans la question des petits logements*, par M. Cacheux (Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts). (Extrait du Bulletin des Sciences économiques et sociales du Comité des Travaux historiques et scientifiques, année 1904), (in-8°, 250 × 160 de 11 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.).
44365

Conseil supérieur du travail. Quinzième session, Novembre 1905. Délai-Congé. Compte rendu (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes) (in-4°, 265 × 210 de XVIII-169 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1906. (Don du Ministère du Commerce). 44393

Électricité.

GRAFFIGNY (H. de). — *Manuel pratique du télégraphiste et du téléphoniste*, par H. de Graffigny (in-8°, 220 × 150 de XII-304 p. avec 95 fig.). Paris, H. Desforges, 1906. (Don de l'éditeur). 44391

Géologie et Sciences naturelles diverses.

GERLIER (F.). — *Des puits qui soufflent et aspirent*, par F. Gerlier (Extrait des Archives des Sciences physiques et naturelles. Quatrième période, Tome XIX, Mai 1905, p. 487 à 492) (in-8°, 225 × 150 de 6 p.). Genève, Bureau des Archives, 1905. (Don de M. W. Grosseteste. M. de la S.). 44388

Législation.

American Society of Civil Engineers. Constitution and List of Members. February 1906 (in-8°, 230 × 150 de 270 p.). New-York, House of the Society.

Société des anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers. Annuaire des Sociétaires au 28 février 1906 (in-8°, 215 × 135 de 436 p. avec un tabl. graph.). Paris, Imprimerie Chaix, 1906. 44395

Métallurgie et Mines.

DUMAS (L.). — *The reversible and irreversible Transformations of Nickel Steel*, by L. Dumas (Reprinted from the « Journal of the Iron and Steel Institute » N° II, for 1905) (in-8°, 215 × 140 de 46 p. avec 10 fig.). London, Published at the Office of the Institute, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44397

LEVÈQUE (J.). — *Les ardoisières du bassin de Fumay. Description de leur exploitation et de la fabrication de l'ardoise, etc.*, par J. Levèque (in-16. 180 × 115 de 56 p. avec 8 phototypies et 1 carte. Charleville, Éditions du Journal L'Usine, 1905. (Don de l'éditeur.) 44377

MATIGNON (C.). — *L'électrométallurgie des fontes, fers et aciers*, par Camille Matignon (in-8°, 255 × 165 de VIII-93 p. avec 37 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44391

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

BERIGNY (Ch.). — *Navigation maritime du Havre à Paris, ou Mémoire sur les moyens de faire remonter jusqu'à Paris tous les bâtiments de mer qui peuvent entrer dans le port du Havre*, par Charles Bérigny (in-8°, 235 × 140 de IV-84 p. avec 3 pl.). A Paris, de l'Imprimerie de Demonville, Mars 1826. (Don de M. A. Mallet, M. de la S.). 44379

BERTIN (L.-E.). — *Le navire à vapeur sur son cercle de giration. Forces en jeu, angles de dérive et d'inclinaison*, par L.-E. Bertin (in-4°, 280 × 230 de 53 p. avec 21 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44372

HANREZ (P.). — *Le port d'Anvers et le projet de grande coupure de l'Escaut. La défense nationale et les fortifications d'Anvers*. Discours de Prosper Hanrez. Séances des 6 et 8 mars 1906 (d'après les Annales parlementaires) (Sénat de Belgique. Session de 1905-1906) (in-8°, 220 × 150 de 56 p.). Bruxelles, Imprimerie F. Vanbuggenhoudt, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44380

Routes.

FLEMER (J.-A.). — *An Elementary Treatise on Phototopographic Methods and Instruments*. Including a concise Review of executed Phototopographic Surveys and of Publications on this Subject, by J.-A. Flemer. First Edition. First Thousand (in-8°, 230 × 145 de XIX-138 p. avec 109 pl.). New-York, John Wiley and Sons, 1906. (Don des éditeurs). 44400

Sciences morales. — Divers.

Albert Rouvière 1841-1905 (in-8°, 225 × 140 de 45 p. avec une photogr.) Toulouse, B. Sirven. 44394

Mémoires de la Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube. Tome LXIX de la Collection. Tome XLII. Troisième série. Année 1905 (in-8°, 250 × 165 de 612 p.) Troyes, Paul Nouel. 44366

Technologie générale.

Bulletin de la Société industrielle de l'Est. 22e année 1905. Bulletin trimestriel n° 45. But. Moyens d'action et Travaux de la Société industrielle de l'Est. Annuaire et Statuts (in-8°, 243 × 160 de VII-272 p. avec phototypies). Nancy, Imprimerie P. Pierron, 1905. 44378

International Catalogue of Scientific Literature. Second Annual Issue. G. Mineralogy, Including Petrology and Crystallography (in-8°, 215 × 135 de VIII-243 p.). Published for the International Council by the Royal Society of London. Paris, Gauthier-Villars, March 1904. (Don de l'éditeur). 44373

International Catalogue of Scientific Literature. Second Annual Issue. H. Geology (in-8°, 215 × 135 de VIII-256 p.). Published for the International Council by the Royal Society of London. Paris, Gauthier-Villars, April 1904. (Don de l'éditeur). 44375

International Catalogue of Scientific Literature. Third Annual Issue, H. Geology (in-8°, 215 × 135 de VIII-248 p.). Published for the International Council by the Royal Society of London. Paris, Gauthier-Villars, July 1905. (Don de l'éditeur.) 44376

International Catalogue of Scientific Literature. Third Annual Issue. G. Mineralogy, Including Petrology and Crystallography (in-8°, 215 × 135 de VIII-359 p.). Published for the International Council by the Royal Society of London. Paris, Gauthier-Villars, August 1905. (Don de l'éditeur.) 44374

Travaux publics.

CANDLOT (E). — *Ciments et chaux hydrauliques. Fabrication. Propriétés. Emploi*, par E. Candlot. Troisième édition revue et considérablement augmentée (in-8°, 250 × 160 de 531 p. avec 144 fig., 19 graphiques et 24 tabl.). Paris, Ch. Béranger, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44364

CHABRAND (E.). — *La Porte et la Voie romaines de Mont-de-Lans*, par Ernest Chabrand, (Extrait du Bulletin de la Société dauphinoise d'Ethnologie et d'Anthropologie. N° 1. Avril 1905) (in-8°, 250 × 160 de 9 p. avec une photographie de la Porte romaine.) Grenoble, Allier frères, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44390

DEBAUVE (A.) et IMBEAUX (Ed.). — *Assainissement des villes. Distributions d'eau*, par A. Debauve et Ed. Imbeaux. *Tomes I, II et III.* Troisième édition complètement remaniée et considérablement augmentée (3 vol. in-8°, 250 × 160 de XII-732 p. avec 249 fig. et 8 tabl.; 579 p. avec 224 fig.; 608 p. avec 185 fig. et atlas 315 × 245 de 72 planches). Paris, V^e^ Ch. Dunod, H. Dunod et E. Pinat, 1905, 1906. (Don des éditeurs.) 44381 à 44384

JOLIBOIS (P.) et LANAVE (L.). — *La théorie et la pratique dans les travaux publics*, par Pierre Jolibois. Préface de Louis Lanave (in-8°, 215 × 135 de XXIV-128 p.). Paris, Chez l'auteur, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44363

SAGERET. — *Annuaire du Bâtiment, des Travaux publics et des Arts industriels. 97^e^ année de sa publication. 1906* (in-8°, 220 × 135 de XXXII-LXXVI-2496 pages). Paris, 53, rue de Rennes, 1906. 44389

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois d'avril 1906 sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

F.-E.-J. Airault,	présenté par MM.	Corot, Soreau, Surcouf.
A.-A.-L. Boulenger,	—	Panhard, Pichon, P. Boulenger.
W. C. Cushing,	—	Godfernaux, A. Henry, J. Michaut.
A. Faiveley,	—	L. Joubert, Cornesse, Vignes.
G.-T. Harrap,	—	Bilbie, Garcin, Whinfield.
R. Masse,	—	Hillairet, Cornuault, P. Mallet.
J.-E.-E. Mercier,	—	Hillairet, Pinget, Dujardin-Beaumetz.
L.-L.-A.-A. Morel Fatio,	—	Hillairet, Lelarge, Meyer.
G. Nauton-Fourteu,	—	Bourdil, Longuemarre, Lumet.
H. Nauton-Fourteu,	—	Bourdil, Longuemarre, Lumet.
J.-J.-H. Pidoux,	—	Coignard, Lavergne, E.-A. Langlois.
P. Sicault,	—	E. Farcot fils, Popineau, Vizet.
L.-M.-J.-A. Son Dumarais,	—	Dumont, Calmette, Lemaire.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

A. Kupper,	présenté par MM.	Bodin, Couriot, Métayer.
G.-E.-C. Micaud,	—	Reumaux, du Bousquet, Bousquet.
A.-M.-J.-R. Portevin,	—	Masson, Bergeron, Guillet.
L.-P.-M. Revillon,	—	Masson, Bergeron, Guillet.

Comme Membre Associé, M. :

A.-F. Fernez, présenté par MM. Boyer, Duchesne, de Tédesco.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AVRIL 1906

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 6 AVRIL 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

E.-J. Charruyer, ancien élève de l'École Centrale (1884), Membre de la Société depuis 1894, Député, Conseiller général de la Charente-Inférieure, Membre du Conseil supérieur de la marine marchande et du Comité consultatif de la navigation et des ports, administrateur d'usines à gaz;

J. de Koning, ancien élève de l'École Polytechnique de Delft, Membre de la Société depuis 1884, Membre correspondant en Hollande, Ingénieur civil;

F. Bourdet, ancien élève de l'École Centrale (1876), Membre de la Société depuis 1890, Expert près les Tribunaux, Administrateur délégué de la Société des anciens établissements Cail, Chevalier de la Légion d'honneur;

E.-A. Zuber, ancien élève de l'École Centrale (1858), Membre de la Société depuis 1899, Ingénieur civil, Président du Conseil d'Administration de l'Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, vice-Président de la Société Industrielle de Mulhouse, chef de la Société Zuber, Rieder et Cie, fabricants de papiers.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues les sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître que M. Riffard a été nommé Chevalier du Mérite agricole et lui adresse les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochain Bulletins.

M. le Président adresse des remerciements à M. Thuillier, Membre nouvellement admis, qui a fait don à la Société d'une somme de 56 francs.

M. le Président fait connaître que le premier Congrès national français de l'enseignement du dessin aura lieu, à Paris, du 1er au 9 août prochain.

Le Sixième Congrès international de chimie appliquée a sa date définitivement fixée et se tiendra à Rome, du 26 avril courant au 3 mai prochain.

M. le Président rappelle que dans cette séance doit avoir lieu la discussion de la Communication de M. Sekutowicz sur les *Turbines à gaz*.

Un certain nombre de nos Collègues ont bien voulu répondre à l'appel qui leur a été adressé et la première partie de cette discussion aura lieu dans la seance de ce soir. La seconde partie sera reportée à la séance du 20 avril courant.

Dans la séance de ce jour doivent prendre la parole : MM. J. Deschamps, René Armengaud, Barbezat et J. Rey.

M. J. Deschamps à la parole.

M. J. Deschamps constate, d'abord, que la communication de M. Sekutowicz est sobre de documents. Elle ne contient ni descriptions de machines, ni comptes rendus d'expérience, ni même un exposé des brevets les plus intéressants.

Par contre, M. Sekutowicz, dans un louable effort, a fait une multiplicité de calculs, qui malheureusement sont établis en prenant, pour les chaleurs spécifiques, des valeurs constantes, alors que les célèbres expériences de MM. Mallard et Lechatelier, ont indiqué les valeurs sur lesquelles tout calcul doit être basé. Aussi les tableaux et les graphiques fournissent-ils des résultats s'écartant énormément des valeurs qu'ils devraient indiquer.

M. Deschamps fait observer à ce sujet que la thermodynamique doit être considérée comme une science d'expérience, bien assise dans des limites qui s'écartent peu de 0 à 300 degrés, où les lois qui soi-disant régissent la production et la transmission de la chaleur sont démontrées sans exactitude. Seules les valeurs des chaleurs spécifiques semblent connues en dehors de ces limites.

Toutes les spéculations que l'on fait, ne sont réellement que des extrapolations téméraires que toute nouvelle expérience infirme et même la conception de la température absolue n'est qu'un procédé commode à employer pour des températures ne s'écartant pas trop de la normale.

Pour montrer un exemple de l'erreur des chiffres publiés par M. Sekutowicz, M. Deschamps signale le seul tableau qui permette une comparaison expérimentale, celui des moteurs à explosion avec compression adiabatique.

M. Sekutowicz trouve que, si un mélange à 260 calories est comprimé à 15 kg et explose, la pression montera à 49 kg.

Or, d'abord, l'expérience montre le peu d'utilité de semblables spéculations, car un mélange à 260 calories n'explose pas. Il faut un mélange plus riche en gaz. à 500 calories par exemple, comme celui du gaz très pauvre de haut fourneau. Avec le même calcul, la pression finale serait alors de 84 kg. L'expérience montre qu'elle atteint généralement de 25 à 30 kg.

A défaut des documents, M. Deschamps examine quelques-unes des idées émises.

M. Sekutowicz croit à une détente *très rigoureusement adiabatique*. Évidemment la détente rapide dans une tuyère sera effectuée avec moins de perte de chaleur aux parois que pour les moteurs à piston. Mais ce serait une grave erreur, d'après M. Deschamps, que de croire que l'on pourra éviter de refroidir les parois. Il y aura même là une grosse difficulté à cause de l'intensité même du refroidissement nécessaire, fût-ce celui des pièces réfractaires que l'on doit refroidir dans les fours pour des cas semblables ?

La grande vitesse du flux à haute température change peu la grandeur des chaleurs perdues dans le parcours d'une pièce refroidie, comme l'a si bien démontré, ici même, M. Marcel Deprez.

Pour cette même raison, il est tout à fait arbitraire de fixer à 400 degrés cg. la température de sortie des fumées.

Enfin, M. Deschamps, rappelant sa propre communication, critique les arguments invoqués par M. Sekutowicz contre les turbines à explosion.

L'impossibilité de l'emploi d'une soupape à cause de la haute température de la chambre d'explosion ne lui semble pas une objection raisonnable. Dans les moteurs à piston, les soupapes existent et même on néglige de les refroidir.

L'inconvénient de la variabilité de l'écoulement des gaz brûlés est beaucoup plus grave. Le conférencier aurait dû cependant signaler les moyens proposés pour y remédier. La Gasmotoren Fabrik de Deutz prévoit un réservoir formant volant et limitant beaucoup les écarts de pression ; M. Stodola étrangle plus ou moins la veine avec un pointeau.

D'autres préfèrent mélanger les gaz provenant de plusieurs explosions et inégalement détendus, mais là se présente une objection importante.

M. Sekutowicz prétend qu'une proportion considérable de la force vive serait nécessairement détruite. Il a même fait un tableau.

L'argument vient de la théorie des trompes et, élargissant le débat, c'est toute cette théorie dont M. Deschamps critique l'équation fondamentale.

On considère deux veines fluides aboutissant à une trompe avec une même pression p et des vitesses différentes. Elles sont supposées sortir de la trompe avec une vitesse uniforme à la même pression p. On applique, à la masse gazeuse, l'équation des quantités de mouvement:

$$\Sigma M V = O$$

Cette équation, d'un emploi toujours délicat, n'est légitime que si

$\Sigma F\,dt = O$, F étant la force appliquée à un élément fluide pendant le trajet.

M. Sekutowicz, d'après M. Stodola et d'autres, raisonne comme si la pression avait la même valeur p, en tout endroit de la paroi (page 252 *Bulletin de février 1906*).

L'erreur est manifeste. Le fluide extérieur est attiré précisément par la dépression intense qui existe en un anneau autour de la veine interne et le long de la paroi $a\,a'\,b\,b'$ (fig. 1). Au contraire de bb' à cc' il semble y avoir un excès de pression dont les composantes horizontales s'ajoutent à celles de la dépression. $\Sigma F\,dt$ n'est donc pas nul, on pourrait même dire que sa valeur mesure la qualité de la trompe. Elle dépend essentiellement de la forme de celle-ci.

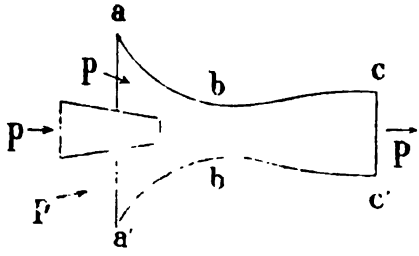


FIG. 1.

Ce qui est étonnant c'est que l'on ait songé à appliquer, dans un cas semblable, une équation qui est celle du choc des corps mous.

Il faut, d'abord, beaucoup se méfier des équations classiques du choc. M. de Meaupou d'Ableiges a montré, d'une façon remarquable, comment la théorie devait modifier les équations du choc des corps élastiques.

Ensuite, ce qui constitue la raison essentielle de l'équation du choc des corps mous, c'est la consommation de force vive nécessaire à la déformation des corps. On n'imagine pas la déformation permanente des liquides et le travail absorbé.

Enfin, considérer comme corps mous des veines gazeuses semble téméraire !

Evidemment, il y a un déchet de force vive quand deux courants gazeux se rencontrent. Il est dû principalement à la formation de tourbillons. Quelle est la valeur de ce déchet, dans quelles proportions peut-il être réduit ? C'est une étude très intéressante à faire, mais M. Deschamps estime que l'Ingénieur qui cherchera à perfectionner ces appareils ne sera limité dans cette voie que par l'imperfection des moyens employés et nullement par une cause semblable à celle que M. Sekutowicz a signalée et dont il a calculé les effets.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Deschamps et donne la parole à M. R. ARMENGAUD.

M. RENÉ ARMENGAUD commence par faire remarquer à M. Sekutowicz que, d'après la description que ce dernier a donnée de la turbine Stoltze, l'on serait tenté de croire que cette machine serait une turbine à combustion. Or, il n'en est rien; il demande tout simplement à M. Sekutowicz de se reporter à la description que M. Stoltze en donne, dans ses brevets, comme dans sa brochure qu'il intitule lui-même « Heisslufturbine ». Cette turbine à air chaud se compose essentiellement d'un compresseur hélicoïde comprimant de l'air à la pression de 1 1/2 kg. Cet air, après

avoir circulé autour d'un foyer à charbon et s'être dilaté, actionne après détente une turbine calée sur le même arbre que le compresseur.

Ce genre de turbine procède donc d'une action physique et non d'un phénomène chimique comme dans la turbine à combustion.

Si l'on vient à reprendre les calculs déterminant la valeur économique d'une pareille turbine, les résultats ne semblent pas devoir être très encourageants.

Il en serait du reste de même si les calculs s'appliquaient à une turbine à combustion à air pur, c'est-à-dire une turbine dans laquelle on serait obligé de faire appel à un très grand excès d'air si l'on voulait par ce seul procédé de refroidissement abaisser convenablement les températures des gaz de la combustion, de manière qu'ils ne détériorent pas très rapidement les organes de la machine qu'ils actionnent.

Revenant maintenant à la question brevet, M. René Armengaud fait ressortir que les brevets de M. de Laval, de M. Bontjean ne sauraient être des brevets de réalisation.

Il suffit du reste de construire différentes turbines d'après leurs données pour constater que, dans ces machines, non seulement la combustion serait très difficile, pour ne pas dire impossible, et en admettant même qu'elle le soit, que tous les organes de ces turbines ne tarderaient pas à être rapidement détériorés.

Au contraire, dans les brevets se rapportant à la turbine mixte à combustion (système Armengaud et Lemale) qui pour ainsi dire ont été pris au fur et à mesure des difficultés rencontrées au cours des études de leurs machines d'essais, sont décrits les différents procédés et particularités de construction qui permettent entre autres :

1° D'obtenir un brassage parfait du mélange (air et combustible) avant son introduction dans la chambre de combustion ;

2° De provoquer dans cette chambre l'allumage constant et la combustion complète d'un fluide gazeux sous pression, animé d'une certaine vitesse, sans que : 1° les organes qui provoquent cet allumage ne souffrent en aucune façon de la température très élevée du milieu où s'entretient la combustion ; et 2° sans que cette combustion ne soit en aucune manière influencée par le fait d'une introduction de vapeur dans la chambre de combustion elle-même ;

3° De soustraire les organes de la turbine (tuyères, disques, aubes, etc.) aux inconvénients qui pourraient résulter de leur contact continuel avec des gaz à de très hautes températures ;

4° D'utiliser tous les déchets de chaleur de la machine pour produire de la vapeur qui est, soit introduite dans la chambre de combustion, soit encore détendue sur les aubes de la turbine en vue de les refroidir et d'augmenter le rendement de la machine ;

5° De ne pas recourir à des régimes de pression amont excessivement forts pour les compresseurs polycellulaires, et réaliser cependant une chute de pression compatible avec un bon rendement pour le groupe compresseur et turbine proprement dits, etc.

M. René Armengaud mentionne également un perfectionnement important dû à M. L. de Chasseloup-Laubat, et qui solutionne l'application de cette turbine mixte à la marine. Ce perfectionnement a pour

effet de ne permettre en aucune façon, dans une turbine à détentes parallèles de gaz et de vapeur, la dilution après leur détente des gaz brûlés dans la vapeur qui se rend directement à un condenseur.

Parlant maintenant de l'étude thermodynamique des turbines à gaz M. Armengaud se range à l'opinion déjà exprimée par M. Deschamps à savoir: que M. Sekutowicz n'aurait pas dû prendre comme bases générales de ses calculs des chiffres hypothétiques, tels que ceux qu'il a choisis par exemple par les chaleurs spécifiques à température constante. et pour la soi-disant température finale de la détente que peuvent supporter les disques, c'est-à-dire 700 degrés. Abordant la question des résultats essais, M. Armengaud regrette de ne pouvoir en communiquer qu'un très petit nombre à la Société des Ingénieurs civils, ces travaux appartenant à la Société des Turbomoteurs, mais il donnera cependant dans le bulletin certaines caractéristiques et entre autres celles qui démontrent d'une façon absolue que, dans leur dernière machine d'essai:

1° Le fait d'introduire du pétrole dans l'air quadruple l'énergie d'un même volume d'air; 2° que, dans le cas d'une turbine mixte, en admettant un rendement de 65 0/0 au compresseur, le travail absorbé par ce dernier représente environ la moitié de la puissance disponible sur l'arbre de la turbine; 3° que le rendement de cette machine est fonction de la chute de dépression et de la température que peuvent supporter les aubes de la turbine.

M. Armengaud se permettra également de faire figurer, dans le bulletin, un tableau représentatif ou bilan thermodynamique de la turbine à combustion mixte, c'est-à-dire avec récupération de vapeur.

Répondant maintenant à M. Deschamps M. Armengaud, ne s'explique pas pourquoi ce dernier n'a pas voulu admettre, au cours de son mémoire qu'il soit possible de raisonner sur des compresseurs dont la compression se rapproche de très près de la compression isothermique.

Dans le compresseur système Rateau construit actuellement chez Brown, Boveri et C° à Baden, l'air se trouve refroidi dans chaque corps au fur et à mesure de sa compression et l'on a même réservé la possibilité de le refroidir encore entre chacun de ces corps.

M. Armengaud cède alors la parole à M. Barbezat, Ingénieur de la Société des Turbomoteurs, qui s'est également occupé tout spécialement avec M. Lemale de la construction d'une grosse unité dont il vous soumettra certaines données, en même temps qu'il en fera projeter les photographies.

M. Le Président remercie M. R. Armengaud et donne la parole à M. Barbezat.

M. A. Barbezat regrette d'abord que M. Sekutowicz ait basé son travail sur des chaleurs spécifiques constantes et n'ait, dans sa discussion du rendement, envisagé seulement que la température de 400 degrés à l'échappement. Si M. Deschamps vient de son côté d'en faire la remarque, c'est sans qu'il y ait eu échange d'idées ou entente préalable entre eux mais uniquement parce que ces deux points importants frappent toute personne qui s'occupe des turbines à gaz, et qui a essayé déjà de superposer la théorie pure et des essais pratiques à hautes températures. La

raison que fait valoir M. Sekutowicz pour prendre des chaleurs spécifiques constantes : Simplification des formules, est insuffisante, car il a été démontré dans l'*Éclairage Électrique*, en 1904, qu'une discussion du rendement avec chaleurs spécifiques variables ne rencontrait aucune difficulté. L'augmentation de la température d'échappement que M. Sékutowicz n'a pas prévue et pour laquelle il n'a pas indiqué de moyens a une importance capitale dans les turbines à gaz.

M. Barbezat rappelle les trois moyens suivants permettant de réaliser de hautes températures à l'échappement :

1° Employer des aciers spéciaux résistant aux hautes températures ;

1° Ajouter au jet de gaz trop chaud un jet de vapeur relativement froid ;

3° Refroidir le disque par une circulation d'eau intérieure.

Il semble donc que M. Sekutowicz aurait eu raison de donner non pas seulement une courbe quelconque de rendement, mais une surface de rendement, c'est-à-dire ses courbes de niveaux (ou lignes d'égal rendement) en fonction de la pression d'amont et de la température d'échappement, comme M. Barbezat l'avait d'ailleurs déjà fait, bien que M. Sekutowicz n'en fasse pas mention.

M. Barbezat montre ensuite une turbine de Laval transformée, ayant servi aux essais qu'il a faits avec MM. Armengaud et Lemale et en donne une description très sommaire.

Les essais ont principalement porte sur les points suivants :

Recherche des conditions nécessaires pour obtenir un bon allumage et une combustion parfaite.

Recherche d'une chambre de combustion et accessoires, pouvant résister aux hautes températures.

Mesure du rendement de cette turbine d'essais.

Essais sur la variation de ce rendement en fonction de la pression d'amont et de la température d'aval, en tenant compte de ce qu'on opérait sur un seul et même disque.

Étude expérimentale des lois de la détente de gaz ayant jusqu'à 1 000 et 1 100 degrés à la sortie de la tuyère, et mesure de la poussée du jet.

Après la turbine on a construit et essayé un élément d'un compresseur polycellulaire pouvant fonctionner avec trois genres de roues différentes ; le diffuseur étant avec ou sans aubes, de nombre et d'inclinaison variables et enfin le retour au centre pouvant être allongé suivant une spirale ou raccourci suivant le rayon.

A ce moment, dit M. Barbezat, nous avons eu connaissance du compresseur polycellulaire que M. Rateau faisait construire et qui répondait à nos desiderata. Nous nous sommes entendus avec lui pour faire faire une unité spécialement appropriée à nos besoins chez MM. *Brown Boveri and C° à Baden*. Ce compresseur est à trois corps et comprend une vingtaine de disques en série, refroidis chacun individuellement. Les trois corps peuvent à volonté être disposés, tous les trois ou l'un seulement d'entre eux, en aval de la turbine et devenir aspirateurs. Le premier corps a déjà été essayé et a donné entière satisfaction.

M. Barbezat décrit ensuite deux vues de la turbine proprement dite

qui vient d'être construite chez MM. *Cohendet et Cie, à Paris*, et fait remarquer qu'en marche normale, environ la moitié du débit du compresseur représentera le travail utile du Turbo-compresseur, l'autre moitié servant à alimenter la turbine; et qu'on a prévu un nombre suffisant de tuyères pour que tout l'air du compresseur puisse, le cas échéant, être dirigé sur la turbine et doubler ainsi la puissance de la machine, munie alors d'une réceptrice quelconque en bout. La vapeur de refroidissement, créée en majeure partie dans un récupérateur, qui servira pour la mise en marche, pourra être introduite en proportions variables dans la chambre de combustion ou se détendre directement sur les aubes du disque, en utilisant un secteur de tuyères spécialement réservé à cet effet. On s'est inspiré, pour l'établissement de ce projet, du principe actuellement en vogue dans la construction des gros moteurs à gaz : refroidissement spécial de tout organe en contact direct avec les gaz chauds.

M. Barbezat donne rapidement les raisons qui ont fait admettre 300 ou 600 ch effectifs comme puissance de la turbine, 4 000 comme nombre de tours par minute, 5 kg par centimètre carré comme pression d'amont et enfin pourquoi ils ont admis le disque genre Curtis à double rangée d'aubes qu'il fait projeter. Un second disque semblable en acier spécial est déjà prévu; un troisième, à circulation d'eau intérieure, est en construction. A son avis, c'est plutôt les hautes températures et les moyennes pressions qui conduiront à la meilleure solution d'une turbine mixte à combustion.

M. le Président remercie M. Barbezat et donne la parole à M. J. Rey.

M. J. Rey, présente un certain nombre d'observations d'un caractère plutôt pratique, sur la possibilité de réalisation d'une turbine à gaz, avec les moyens dont dispose actuellement la technique industrielle.

M. Rey écarte de son sujet, tout d'abord, les turbines mixtes avec mélange d'air chaud et de vapeur ou de tout autre gaz, ainsi que les turbines à explosion. Il s'attache plus particulièrement à la turbine à gaz, du type le plus simple, qui n'utilise, avec le combustible, que l'air atmosphérique.

C'est bien là la turbine idéale qui serait, si on la réalisait, la moins compliquée, et c'est cette combinaison qui est envisagée, d'une manière générale, par le public et par les Ingénieurs, sous le nom de turbine à gaz, quoique les spécialistes lui donnent souvent la dénomination de turbine à air chaud.

Comme M. Sekutowicz l'a indiqué dans son mémoire, l'organe principal d'un tel appareil, c'est le compresseur. De sa réalisation pratique dans de bonnes conditions dépend le succès de la turbine ainsi définie.

M. Rey montre que l'on doit écarter, d'emblée, l'emploi des compresseurs à piston dont la commande directe par la turbine à gaz serait impraticable. Ce genre de compresseurs permettrait d'obtenir, il est vrai, de hautes compressions, mais non pas avec les rendements fort élevés que donne M. Sekutowicz, et qu'on ne réalise pas en service courant.

Les compresseurs rotatifs, ou, plutôt, multicellulaires, sont encore fort peu connus.

M. Rey présente à la Société deux photographies du seul appareil de grandes dimensions qui ait été réalisé jusqu'ici, à sa connaissance, et qui soit en service courant dans l'industrie. Ce compresseur multicellulaire a été construit par la Maison Sautter, Harlé et Cie, sur les idées de M. Rateau, pour la Société des Mines de Béthune, grâce à la bienveillante insistance de son Directeur général M. Mercier, lequel avait foi dans le succès d'un tel appareil, dont la réalisation paraissait présenter, il y a peu d'années encore, des difficultés presque insurmontables.

Le compresseur de Béthune n'est point un appareil de fortune, mais bien le résultat d'un ensemble de travaux théoriques et pratiques, et de nombreuses expériences faites sur des modèles de plus faible dimension.

Cet appareil absorbe 400 ch. sur deux arbres. Il est composé de 4 corps réunis en tension ; il comprime normalement 1 kg d'air par seconde, à la pression de 6 kg effectifs, à la vitesse de 4 500 tours par minute.

La compression est adiabatique dans chaque corps, mais l'air est refroidi à chaque étage de compression par un réfrigérant tubulaire ; le travail absorbé est donc moindre que ne l'indique le cycle adiabatique. Le rendement interne de chaque corps a été mesuré en comparant l'élévation de température obtenue à celle que donne le cycle adiabatique théorique.

Les mesures assez complexes qui ont été effectuées pendant les essais de cet appareil, ont montré que le rendement variait entre 60 et 64 0/0 environ suivant les variations de débit et de vitesse. En majorant légèrement ce chiffre, M. Rey estime que, dans un calcul pratique, on peut compter sur un rendement de 65 0/0 appliqué au cycle adiabatique.

Partant de ces données, M. Rey cherche à calculer le travail utile que fournira une turbine à gaz détendant les gaz chauds à la température de 700 degrés absolus, limite admise par M. Sekutowicz dans ses calculs, avec le rapport de compression de 7.

En prenant comme rendement de la turbine à gaz 65 0/0 et en appliquant aux formules de la thermo-dynamique la valeur convenable de rapport des chaleurs spécifiques, il est facile de constater que le travail absorbé par le compresseur, dans le cas considéré, sera, à peu de chose près, égal au travail fourni par la turbine.

En supposant que le rendement du compresseur soit égal à l'unité, ainsi que celui de la turbine, on trouve que le travail utile correspondra à un rendement thermique d'environ 30 0/0, qui est celui que fournit le moteur Diesel, tel que les constructeurs le livrent actuellement pour les applications industrielles.

Si l'on trouve ce calcul trop pessimiste, on peut dire, il est vrai, qu'on a supposé une compression adiabatique, tandis que, en réalité, le compresseur de Béthune donne une compression comprise entre l'isotherme et l'adiabatique, d'où une amélioration des résultats calculés.

Mais, d'autre part, le rendement de la turbine à gaz, supposé de 65 0/0 peut être considéré comme trop favorable ; les turbines à gaz étant obligées de travailler par chute de vitesse et non pas par chute de pression, leur rendement se trouve, de ce chef, inférieur à celui de bonnes turbines à vapeur à pressions étagées.

De plus, le rendement hydraulique de chaque roue ne peut être aussi élevé que pour la vapeur, étant donnée la grande vitesse de détente de l'air, qui est notablement plus forte que pour de la vapeur.

Enfin, il faut tenir compte des fuites inévitables aux garnitures, dans des appareils rotatifs à multiples corps, fuites qui sont loin d'être négligeables en service courant.

Ces raisons font qu'il est peu probable que les résultats du calcul ci-dessus s'éloignent beaucoup de la réalité pratique. Pour les améliorer, il faudrait donc ou détendre les gaz sur les roues de la turbine à une température beaucoup plus élevée, ou augmenter notablement le rapport de compression.

Dans le premier cas, la construction de la turbine deviendra fort difficile ; dans le second cas, la construction du compresseur multicellulaire sera à peu près impraticable et son rendement s'abaissera encore.

En terminant, M. Rey fait remarquer combien la construction des turbines à vapeur surchauffée offre déjà de nombreux aléas ; les alliages employés pour les aubages étant peu à peu désorganisés par une surchauffe prolongée, il craint, que la construction d'aubages à grande vitesse soumis à des températures atteignant 5 à 600 degrés C., soit, dans l'état actuel de l'industrie, une difficulté des plus graves.

M. le Président remercie les Collègues qui viennent de prendre la parole dans cette importante discussion, dont la suite est remise à la séance du 20 avril.

Dans cette prochaine séance, prendront la parole : MM. Hart, Letombe, Arnoux, Bochet, Wehrlin et Sekutowicz. Ce dernier Collègue répondra à ce moment, s'il y a lieu, aux différentes objections ou observations qui auraient été faites au cours de l'ensemble de la discussion.

M. Ronceray a la parole pour sa communication sur *l'état actuel du moulage mécanique*.

M. Ronceray parle tout d'abord des principes élémentaires du moulage à la main qui entraîne le raccord des moules, des couches porte-modèles qui économisent déjà beaucoup de temps, car la recherche du joint n'est plus à faire à chaque moule, des plaques modèles doubles en plâtre, chacune portant une partie du modèle, le joint étant déterminé par le plâtre, des plaques modèles doubles en métal bronze ou fonte qui nécessitent un ajustage et de plus, un modèle initial comportant double retrait, le bronze ou la fonte de la plaque modèle donnant déjà un premier retrait, des plaques modèles à double face en métal portant une partie du modèle de part et d'autre.

Il passe ensuite aux machines à mouler allemandes, anglaises et américaines.

La première machine allemande est une simple démouleuse qui est mue par levier et lève le châssis de dessus la plaque. On voit de suite que le sable qui tombe peut s'égarer, et alors il faut raccorder le moule. Une autre machine comporte une plaque modèle avec partie du modèle de part et d'autre, on fait d'abord un moule sur l'un des côtés de la plaque; l'on retourne, et l'on fait l'autre côté du moule ; ou enlève le premier côté du moule par-dessous, l'on retourne et l'on enlève le second côté.

C'est le moulage sur plaque renversable dont l'avantage est que les parties de sable qui peuvent se détacher restent en place et facilitent ainsi le raccord. Il donne succinctement les inconvénients de ces machines.

Il parle également des machines à serrage hydraulique, telles que la machine anglaise à mouler en mottes, inventée par M. Leeder, de la maison Singer, machine qui ne travaille que sur des pièces plates et démotte. Puis il décrit la machine Pridmore qui est une machine à peigne. Ce peigne est fixe, et c'est le modèle qui est retiré à travers, le moule une fois fait. Ces machines ne font en général qu'une seule pièce et ne peuvent employer qu'une seule grandeur de châssis. De plus, inconvénient grave, le modèle est soutenu par des leviers et leur usure modifie sa position. Le modèle et le peigne sont ajustés partout.

Les machines américaines sont en général à serrage pneumatique, ce qui semble tout à fait anormal, car par suite de l'élasticité de l'air, et de la faible pression initiale, on est amené à serrer par chocs, malgré les dimensions énormes des pistons.

Le conférencier décrit diverses sortes de machines, telles que la machine sur roues qui se meut une fois le châssis fait, pour opérer ailleurs, et une autre machine où toutes les opérations se font, paraît-il, automatiquement.

Il parle ensuite de la confection des plaques modèles en carapace et des progrès réalisés à la Cie de l'Ouest sous la direction de M. Huillier d'abord, de M. Le Chat ensuite. Pour ne pas avoir à craindre la fragilité du plâtre seul et pour ne pas avoir à faire ces plaques en métal ajusté et à retrait, MM. Saillot et Vignerot eurent l'idée de faire la plaque modèle en carapace de métal sur plâtre, obtenue en tirant d'épaisseur et en coulant un métal blanc à retrait négligeable. On coule ensuite du plâtre ou du ciment dans cette carapace, et on évite ainsi la fragilité. Quant au peigne, M. Saillot a fait faire un progrès considérable au moulage mécanique en le fabriquant par les moyens seuls du mouleur, sans passer par l'intermédiaire onéreux de l'ajusteur-mécanicien, quelle que soit la complexité de ses formes. On fait ce dernier en découpant son empreinte dans le sable autour du modèle, et en coulant dans cette empreinte du métal blanc.

Il passe ensuite aux plaques-modèles réversibles qui, par suite de la disposition symétrique des modèles permettent d'obtenir un moule complet avec une seule plaque modèle. Ce principe, appliqué à de petites plaques modèles complètement métalliques, pouvant se juxtaposer de façon à occuper toute la surface du châssis, constitue ce qu'on appelle le clichage, ce qui donne une grande élasticité à la production.

Puis il passe aux machines à mouler françaises, construites par la maison Bonvillain et Ronceray.

La machine V4 est le plus petit type de ces machines avec lequel une expérience est faite pendant la séance. Elle se compose d'une traverse tournante portant un plateau de serrage à vis, d'une table à démouler mue par une pédale à eau. Voici comment cette machine fonctionne: la plaque modèle repose sur la table de la machine et les dépoussoirs de peigne et de noyaux sur la table de démoulage. Cette dernière com-

porte quatre chandelles destinées à lever le moule et le peigne, s'il y en a un. On place le châssis, la rehausse, on met le sable, on tourne la traverse, on descend le plateau de serrage au moyen de la vis. on desserre, on retourne la traverse, on appuie sur la pédale à eau. la table de démoulage soulève le peigne et le châssis. Le démoulage est ainsi effectué sans arrachement, le peigne ayant soutenu le sable jusqu'à ce que le modèle soit parfaitement sorti du moule.

Les machines A5, A4 et A3 sont du même principe, mais de dimensions plus grandes; de plus la pression s'obtient hydrauliquement. Il y a deux pistons, un pour le serrage et un autre pour le démoulage et les dépoussoirs des peignes. Un manomètre indique la pression exercée.

Un perfectionnement apporté à ces machines est le double serrage qui consiste à donner par le piston de démoulage une pression supplémentaire aux parties de moules trop profondes pour avoir été atteintes par le premier serrage. Un autre perfectionnement est encore la rehausse tournante.

Un accessoire intéressant de ces machines est la démotteuse, qui consiste à assembler les deux parties de moule, et à les repousser ensuite en dehors des châssis. On obtient ainsi une motte de sable qu'il n'y a plus qu'à porter à la coulée. De cette façon, on n'a besoin que d'un nombre excessivement restreint de châssis, d'où grande économie. Une expérience de moulage et de démottage est faite pendant la séance.

Un autre appareil fort intéressant permet d'augmenter dans de fortes proportions la production de ces machines : c'est le distributeur automatique de sable. Il se compose d'une sorte de tiroir qui s'emplit seul sous une trémie, et qui vient ensuite se vider dans le châssis. Un simple mouvement de va-et-vient réalise ces diverses opérations.

Un type de machine encore plus forte que les précédentes est le type GM. Dans cette machine, qui permet l'exécution de pièces très importantes, telles que les carters de moteurs d'automobiles, les voussoirs des tunnels du métro, etc., la table est remplacée par une série de supports mobiles qui se placent suivant les exigences de la plaque modèle, et permettent le passage des dépoussoirs de peigne aux endroits convenables.

Enfin, le conférencier décrit le tout dernier type, ou machine rotative. Cette machine a été étudiée pour l'exécution des pièces à gros noyau, telles que les marmites. Si le moule d'une telle pièce est démoulé par les moyens ordinaires, le noyau ne saurait résister à son propre poids sans être fortement armé. Si, au contraire, on démoule de telle façon que le noyau s'appuie sur sa base, il n'est plus nécessaire de l'armer, et le démoulage se fait sans dégradation. La machine en question joint aux avantages des machines précédentes, celui de pouvoir se retourner complètement autour d'un pivot central, de façon à démouler en sens inverse.

A l'appui de ces explications, le conférencier fait passer de nombreuses projections photographiques, prises sur le vif et montre un grand nombre de pièces obtenues par ces procédés de moulage mécanique, notamment des cylindres d'automobiles et des carters quatre cylindres très compliqués.

M. le Président remercie M. Ronceray de son intéressante communication sur les procédés les plus récents de moulage mécanique, et insiste particulièrement sur l'intérêt que présentent pour les constructeurs les moulages « en petites séries ».

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de :

MM. F.-E.-J. Airault, A.-A.-L. Boulenger, W.-C. Cushing, L.-L.-A.-A. Morel Fatio, G. Nauton-Fouten, H. Nauton-Fouten, J.-J.-H. Pidoux, comme Sociétaires Titulaires; de :

MM. A. Kupper, G.-E.-C. Micaud, A.-M.-G.-R. Portevin, L.-P.-M. Revillon, comme Sociétaires Assistants et de :

M. F.-A. Fernez comme Membre Associé.

MM. A. Faiveley, C.-T. Harrap, R. Masse, J.-E.-L. Mercier, P. Sicault, M.-J.-A.-L. Son Dumarais, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires.

La séance est levée à onze heures cinquante-cinq.

L'un des Secrétaires techniques :
F. Clerc.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 20 AVRIL 1906

Présidence de M. A. Hillairet, Président

La Séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. Gény, Membre de la Société depuis 1891 ; E. Guérin de Litteau, Membre de la Société depuis 1852; Ch.-J. Noël, Membre de la Société depuis 1882; Hallier-Adrien, Membre de la Société depuis 1883.

Il adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président félicite M. Alf. Philippe de sa nomination comme Officier du Mérite Agricole.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

M. le Président adresse à M. Coiseau, ancien Président de la Société, les vifs remerciements de la Société tout entière pour le don qu'il vient

de faire de 25 obligations de la Compagnie des Chemins de fer départementaux, dont le revenu sera affecté au fonds de secours.

M. LE PRÉSIDENT dit que ce soir doit se terminer la discussion sur les *Turbines à gaz*.

Prennent successivement la parole : MM. HART, LETOMBE, A. BOCHET, Jean REY, SEKUTOWICZ, M. ARMENGAUD. Au cours de cette discussion il est également donné lecture d'une lettre de M. Ch. WEHRLIN.

M. HART, tout en trouvant intéressant et surtout suggestif le mémoire de M. Sekutowicz, croit devoir faire certaines réserves sur les cycles qui y sont étudiés et ne pense pas que la limitation de la température absolue sur laquelle ils sont basés soit justifiée.

Il ne peut non plus admettre la proscription édictée par M. Sekutowicz contre les turbines à explosion, qui lui paraissent au contraire plus avantageuses, bien qu'il ne se dissimule pas les difficultés qu'on rencontre à les réaliser.

Il croit que la seule voie féconde est celle de la méthode expérimentale employée par M. Barbezat, et estime qu'elle seule peut conduire à des résultats réellement pratiques.

En terminant, il étudie les difficultés que rencontrera la construction pratique de la turbine à gaz, tant du fait des hautes températures qui font perdre aux métaux une partie de leur résistance, que de la grande vitesse de rotation qui donne naissance à des efforts considérables dans les roues mobiles : il conclut que, si on peut entrevoir le moment où la turbine à gaz remplacera le moteur à piston, cette substitution ne pourra s'opérer que dans un avenir lointain, surtout si l'on se reporte à ce qui s'est passé pour la turbine à vapeur qui, malgré des recherches persévérantes et nombreuses, présente encore bien des points à étudier.

M. LETOMBE se propose d'examiner si la turbine à gaz satisfait à l'une des deux conditions suivantes, en dehors desquelles toute proposition de machine thermique nouvelle, ne saurait être intéressante au point de vue industriel : avoir un rendement plus élevé ou être notablement plus simple que les machines existantes.

M. Letombe montre que, d'une part, la turbine, même à régime égal de compression, de combustion et de détente, ne peut avoir qu'un rendement notablement inférieur à celui des machines à piston correspondantes.

D'autre part, la turbine à gaz, dont la construction propre sera difficile, ne saurait fonctionner sans être accouplée à des compresseurs dont l'encombrement sera aussi important que celui des machines à piston de même force.

Rappelant les paroles prononcées par M. Cornuault, Vice-Président, dans la séance du 2 février, à l'issue de la communication de M. Sekutowicz, M. Letombe termine en disant que si dans certains cas, on donne la préférence aux turbines à vapeur, c'est uniquement à cause de leur simplicité, mais qu'il y a au contraire, des chances pour qu'on n'adopte pas une turbine à gaz même parfaite, à cause de la complication ou de l'encombrement des mécanismes sans lesquels elle ne peut exister.

M. A. Bochet, en insistant sur l'intérêt de la discussion, fait ressortir la nécessité de poursuivre la mise au point des méthodes d'investigations scientifiques pour le régime des nouvelles machines. Des recherches expérimentales, purement scientifiques, sont non moins utiles.

Pour la comparaison des divers types applicables aux turbines à gaz, M. Bochet recourt aux diagrammes entropiques et montre ainsi les conditions d'utilisation des cycles à explosion sans compression et avec compression, ainsi que les cycles à combustion. Cette comparaison fait ressortir l'avantage des hautes compressions, et, à cette occasion, M. Bochet précise les motifs du succès du moteur Diesel.

Les turbines à gaz ne semblent pas pouvoir bénéficier des hautes compressions. Il faut donc recourir aux cycles à explosion. Mais, dans ce cas, apparaît la difficulté d'assurer la régularité d'écoulement de la veine fluide.

M. Bochet montre aussi la difficulté d'emploi d'une soupape à l'aval de la chambre de compression.

M. Ch. Wehrlin, dans l'impossibilité de se rendre à la séance, adresse par lettre quelques observations qui peuvent se résumer ainsi :

Les turbines à gaz seront traversées de part en part par le fluide moteur entraînant forcément des poussières et des produits volatiles, qui se déposeront comme dans les moteurs à gaz, contre les parois et les organes refroidis. De ce chef, n'y a-t-il pas à craindre les obstructions des orifices et, lorsqu'une partie de ces dépôts se détachera, n'en résultera-t-il pas un désordre au cours de la marche ?

Dans les moteurs à gaz, ces matières peuvent s'échapper directement de la chambre de compression par les conduits et les soupapes d'échappement qui seules en souffrent. Dans les turbines, il n'en sera pas de même.

Il y a également lieu de se préoccuper des difficultés provenant du graissage et de la décomposition des huiles à une température aussi élevée dont les résidus s'ajouteront à ceux provenant des poussières sus-indiquées.

Il y a lieu d'espérer cependant que les constructeurs des turbines à gaz profiteront des perfectionnements apportés dans la construction des moteurs à gaz pour réduire au minimum ces inconvénients auxquels les turbines à vapeur ne sont pas exposées.

M. Sekutowicz répond très succinctement aux observations qui ont été présentées.

Son but n'était pas d'apporter des résultats d'essais, ni des théories physiques nouvelles, mais bien d'exposer dans son ensemble l'état actuel de la question en laissant à des collègues plus compétents ou particulièrement documentés le soin d'apporter à la Société des faits nouveaux.

Ce but semble atteint si l'on envisage les intéressantes communications auxquelles la discussion a donné lieu, et particulièrement celle de M. Rey qui montre que le compresseur multicellulaire, organe essentiel des turbines à combustion, est pratiquement réalisable avec un rendement du même ordre de grandeur que celui escompté par M. Sekutowicz.

M. Jean Rey, en réponse à une question de M. Sekutowicz dit : qu'il ignore s'il sera possible de faire fonctionner un compresseur multicellulaire, du modèle de celui des Mines de Béthune, avec une aspiration à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Il faudrait pour cela, augmenter notablement le volume du premier corps, et il est probable que l'on aurait des difficultés provenant du grand diamètre des roues et de la vitesse périphérique élevée qu'il faudrait leur donner.

Dans le calcul que M. Rey a donné à la précédente séance, il a supposé que le compresseur travaillait suivant le mode adiabatique. En réalité, l'emploi d'un réfrigérant tubulaire, placé à chaque étage de compression, ramène la compression à être assez voisine de la compression isothermique.

Malgré cet écart en faveur du compresseur, les résultats de son application aux turbines à gaz dans les conditions indiquées, ne permet pas au rendement général du système d'atteindre les chiffres qu'il faudrait réaliser dans la pratique industrielle.

M. Sekutowicz prend acte de ces indications et conclut que la turbine à combustion, avec compression à 7 k et détente à 1/4 d'atmosphère par exemple, parait en conséquence réalisable, avec un rendement admissible.

Au contraire la turbine à explosion, dont le rendement thermique serait évidemment supérieur en principe, ne pourra être réalisée que si l'on arrive à tourner les difficultés pratiques résultant de la soupape d'aval et des pertes d'énergie cinétique dues au régime variable de l'écoulement. La solution, si elle est possible, constituera en quelque sorte une invention de premier ordre. Mais rien ne la fait encore prévoir.

Enfin, M. Sekutowicz fait remarquer que ces conclusions générales de son étude d'ensemble ne sont pas infirmées par les causes d'erreur résultant dans ses calculs des hypothèses simplifiées dont il s'est servi et qui avaient été critiquées non sans raison au point de vue de la théorie pure. Les auteurs qui se sont occupés des turbines à gaz avant ou après lui, comme MM. Neilson et Baumann, ont d'ailleurs adopté aussi des valeurs constantes pour les chaleurs spécifiques, afin de simplifier leurs calculs, ce qui n'est évidemment admissible que comme première approximation.

M. Marcel Armengaud en l'absence de son frère, légèrement souffrant, demande à présenter quelques observations de nature à éclairer le débat qui s'est engagé sur les turbines à gaz, et qui répondront aux objections soulevées en particulier par M. Rey. Il rappelle que M. Rey dans le calcul qu'il a présenté a recherché quelle était la quantité d'air qu'il y aurait lieu d'ajouter au combustible, non seulement pour en assurer la combustion, mais encore pour que le mélange, après combustion et après détente, ait tout au plus la température limite extrême de 700° absolus, c'est-à-dire environ 400° C. que doit avoir le jet de fluide ainsi formé pour attaquer sans danger les aubes d'un disque de turbine. Dans ce calcul M. Rey est arrivé forcément à un résultat très pessimiste, en raison de la quantité relativement très grande d'air qu'il

est alors nécessaire d'ajouter et aussi des rendements peu élevés des compresseurs rotatifs polycellulaires.

Dans le cas traité par M. Rey, le compresseur absorberait presqu'en totalité le travail fourni par la turbine à gaz, et l'on obtiendrait pour la turbine un rendement pour ainsi dire nul de 2 à 3 °/₀.

M. Armengaud rappelle à la Société que la turbine système Armengaud-Lemale est une turbine mixte, c'est-à-dire une turbine dans laquelle les gaz brûlés n'agissent pas seuls sur les aubages de la turbine. mais conjointement avec une quantité de vapeur suffisante, produite par récupération, qui leur est adjointe dans la chambre de combustion, pour qu'après détente ils aient une température d'environ 400°. L'on peut également injecter la vapeur produite de la même manière par récupération, c'est-à-dire autour de la chambre dans les enveloppes et dans un récupérateur, par des tuyères spéciales, ainsi que MM. René Armengaud et Barbezat l'ont déjà dit, ou encore on peut chercher à refroidir directement les disques par une circulation interne d'eau ou de vapeur.

La Société des Brevets Armengaud-Lemale a déjà expérimenté très sérieusement ces procédés et M. Armengaud déclare qu'ils lui ont donné pleine et entière satisfaction.

Dans ces conditions le problème se pose alors tout différemment ; il suffit que le compresseur fournisse la quantité d'air juste nécessaire a la combustion. Les résultats du calcul sont alors tout à fait autres que ceux de M. Rey, et l'on trouve, en admettant un rendement assez bas de 60 0/0 pour le compresseur, que celui-ci n'emprunterait à la turbine que la moitié du travail qu'elle fournit et même moins.

M. Armengaud ajoute que, quoi qu'en dise M. Rey, il estime, avec M. Rateau, que le rendement des compresseurs multicellulaires est susceptible d'être encore amélioré, en particulier en réalisant une compression isothermique plus rigoureuse. C'est dans cet ordre d'idées qu'est construit à Baden, par la maison Brown-Boveri, un compresseur multicellulaire, système Rateau, dans lequel le refroidissement au lieu d'être produit seulement après chaque corps est effectué également dans les enveloppes de chaque corps qui épousent très exactement la forme des conduits où circule l'air.

La Société des Turbo-moteurs Armengaud-Lemale espère donc qu'avec ce compresseur, dont la construction va être incessamment terminée, le rendement qu'elle a prévu pour la machine en construction pourra déjà être relevé.

M, LE PRÉSIDENT remercie les divers Membres de la Société qui ont bien voulu prendre part à cette discussion ainsi que M. le Président et les Membres de la 3ᵉ section qui l'ont préparée.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. L'HOEST, Ingénieur en Chef aux Chemins de fer de l'État Belge sur sa communication sur *l'Éclairage électrique des trains*.

M. L'HOEST dit que l'éclairage électrique des trains de chemins de fer a été l'objet de nombreuses expériences, mais n'a donné lieu jusqu'ici à aucune généralisation d'un système ayant fait ses preuves.

Cela tient aux difficultés du problème, qui est très complexe et qui doit être envisagé sous bien des aspects différents.

Trois procédés distincts sont employés actuellement sur les véhicules de chemins de fer :

Les accumulateurs transportés, et rechargés à poste fixe ;
Les équipements dits *autonomes* ;
Les systèmes collectifs.

Le premier procédé a l'inconvénient de nécessiter une installation dispendieuse et une manipulation considérable ; le second ne peut être réalisé qu'avec des appareils très délicats, demandant des visites fréquentes et des soins spéciaux, et il est hors de doute que la préférence doit être accordée au troisième procédé.

Cependant une distinction est à faire. Le système collectif employant le montage dit en *dérivation*, présente des difficultés de réglage, d'accouplement de véhicules, de section de câbles difficiles à surmonter dans l'exploitation pratique des chemins de fer.

Mais un autre système collectif, le système L'Hoest-Pieper, emploie au contraire le montage dit en *série* et est établi dans la caractéristique suivante :

Un groupe électrogène générateur, placé sur la chaudière de la locomotive, envoie son courant dans un circuit fermé, unique et complet, où tous les véhicules sont disposés en série. La machine génératrice est à vitesse variable et n'a ni contrôle, ni régulateur ; l'intensité constante obtenue dans le circuit, est seulement fonction de la pression d'admission et tout à fait indépendante de la charge.

Dans chaque voiture, une petite batterie d'accumulateurs, en série dans le circuit principal et sur laquelle les lampes sont montées en parallèles, assure l'éclairage pendant les modifications de la composition de la rame ou les arrêts du groupe électrogène.

L'équipement est complété par des accouplements très simples qui permettent d'accoupler deux voitures par n'importe quelle extrémité sans modifier le sens de courant dans les batteries et sans erreur possible de connexion.

Par voiture, un seul appareil magnétique à fonctionnement positif assure les contacts de mise en marche et d'arrêt. Il permet de maintenir aux lampes un voltage constant malgré l'état de charge ou de décharge de la batterie.

Cet appareil pèse 12 kg.

L'entretien des organes montés sur la voiture se résume à celui des accumulateurs ; encore celui-ci est-il réduit considérablement par le fait que les accumulateurs sont toujours maintenus à l'état de charge.

L'entretien de la locomotive, qui est un véhicule gardé, ne demande pour ainsi dire aucun travail supplémentaire de la part du personnel.

Le système est économique, parce que le moteur à vapeur fonctionne toujours à détente fixe, quelle que soit la charge, et parce que la perte en ligne peut être réduite autant qu'on le désire dans un câblage uniforme. Cette dernière, du reste, n'intéresse en aucune façon les grou-

pements d'éclairage qui ne nécessitent aucune résistance passive, ni d'absorption, ni de compensation.

M. Bochet signale que le mode de régulation préconisé par M. L'Hoest offre toute garantie, car il a déjà la sanction de la pratique.

Des distributions à intensité constante ont été réalisées il y a fort longtemps déjà par la Société Sautter-Harlé, avec des moteurs à couple constant actionnant des génératrices à intensité constante.

D'autre part la Marine fait usage d'un appareil automatique dû au professeur Leblond, substituant une résistance au circuit d'utilisation, quand ce dernier vient à être interrompu pour une cause quelconque.

M. le Président remercie M. L'Hoest de son intéressante communication, ainsi que de la peine qu'il a bien voulu prendre pour venir exprès de Bruxelles exposer, ce soir, devant la Société des Ingénieurs Civils de France, la question à laquelle il a apporté l'une des solutions les plus élégantes et les plus simples.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. E.-F. Declercq, P.-A. Faraud, A.-T.-J. Gueritte, A. Hollard, M.-P.-R. Jourdain, Ph. Loiseleur, W.-Ch.-R. Meyer, P.-Ch. Lemale, P.-H. Robinet comme Sociétaires Titulaires et de

MM. M.-V. Laval et Maschkauzan comme Associés.

MM. F.-E.-J. Airault, A.-A.-L. Boulenger, W.-C. Cushing, L.-L.-A.-A. Morel Fatio, G. Nauton-Fourteu, H. Nauton-Fourteu, J.-J.-H. Pidoux sont admis comme Sociétaires Titulaires ;

MM. A. Kupper, G.-E.-C. Micaud, A.-M.-G.-R. Portevin, L.-P.-M. Revillon comme Sociétaires Assistants et M. F.-A. Fernez comme Membre Associé.

La séance est levée à onze heures quarante-cinq.

L'un des Secrétaires techniques :
F. Clerc.

LES GRANDES VITESSES DES CHEMINS DE FER

LES OSCILLATIONS DU MATÉRIEL ET LA VOIE

PAR

M. Georges MARIÉ

Introduction.

Dans mon mémoire de novembre dernier, j'ai étudié les oscillations qui se produisent à l'entrée en courbe et à la sortie.

Dans le présent mémoire, je commencerai par compléter cette étude et je donnerai des applications pratiques détaillées; j'y ajouterai la solution de quelques problèmes qui se rapportent à la question.

Puis je passerai à l'étude d'un autre cas qui se présente en pratique et dont l'importance est manifeste. Je veux parler des oscillations des véhicules sur leurs ressorts, provenant des déformations horizontales des voies. Il arrive quelquefois, comme je l'ai dit, que des voies en alignement droit prennent une forme de serpent par suite des actions perturbatrices du matériel, qui déforment la voie peu à peu. Il arrive aussi que le même effet se produit en courbe ; ainsi, la voie, au lieu d'avoir un rayon uniforme de 800 mètres en pleine courbe, aura, par exemple, un rayon de 400 mètres et, un peu plus loin, un rayon de 1 200 mètres et ainsi de suite. Ces anomalies sont vite remarquées par les agents locaux de la voie dans les alignements droits, parce que l'œil juge aisément la parfaite rectitude d'une ligne droite. Mais, en courbe, elles échappent même à un œil exercé; il faut faire des mesures de cordes pour s'en rendre compte, et cela ne peut se faire constamment sur tout un réseau. Le cas le plus grave est celui où plusieurs variations de courbure de ce genre se succèdent synchroniquement avec la durée naturelle des oscillations du véhicule sur ses ressorts; ces oscillations peuvent, dans ce cas

rare, aller progressivement en augmentant, ce qui peut entraîner le déraillement, surtout s'il y a superposition avec des oscillations provenant d'une autre cause.

Ces oscillations ont une grande analogie avec celles de mon mémoire de novembre dernier; mais leur cause étant différente, j'ai cru devoir donner un nouveau titre au présent mémoire, pour le mettre en harmonie avec les problèmes que je vais traiter.

CHAPITRE PREMIER.

Application aux Chemins de fer des calculs relatifs à l'entrée en courbe et à la sortie.

§ I. — Voitures a deux ou trois essieux.

Pour les voitures à deux ou trois essieux, le centre des oscillations dues à la force centrifuge est placé en C_1 de la figure 1, comme je l'ai montré dans mon mémoire de novembre.

Les frottements qui résistent à l'oscillation en travers se composent du frottement des lames de ressorts, qui peut se calculer d'après la formule que j'ai donnée dans les *Annales des Mines* de mai 1905 (voir § 31 ci-après).

Le frottement des boîtes à huile sur les plaques de garde est facile à évaluer d'après la valeur de la réaction horizontale que nous connaissons. Mais il faut cependant observer qu'il est souvent très diminué, en pratique, par suite de la flexibilité des plaques de garde; alors ce sont les menottes à anneaux des ressorts qui exercent la plus grande partie de la réaction horizontale; elle se fait alors sans donner lieu à un puissant frottement.

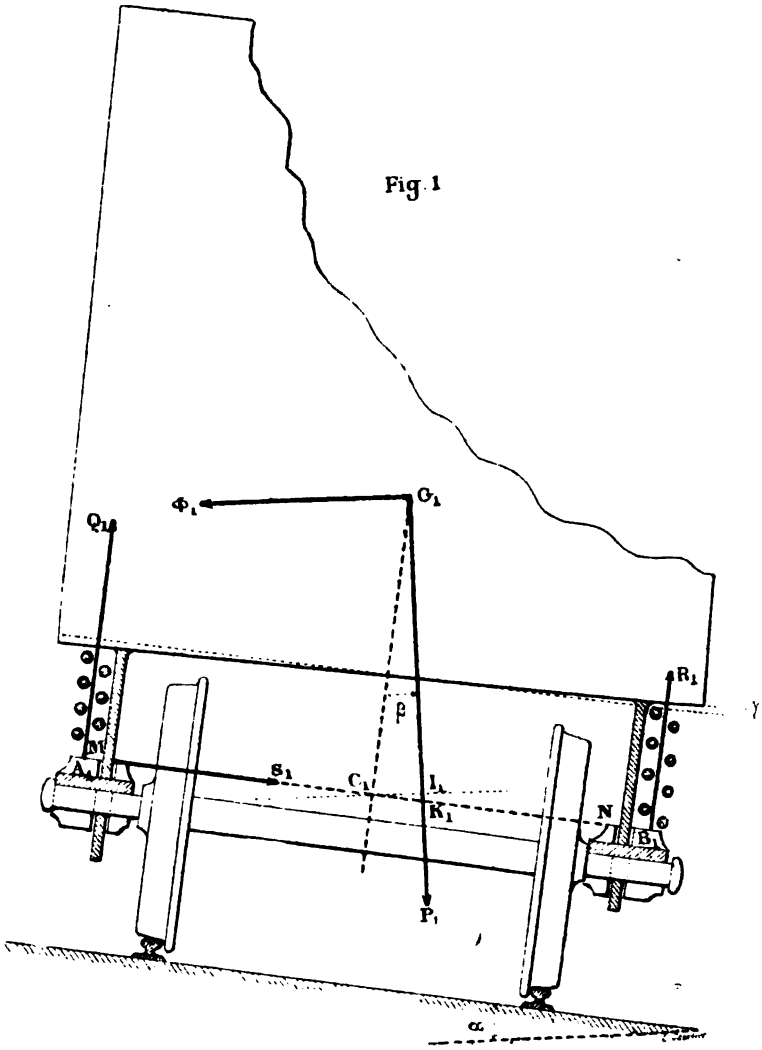
§ 2. — Voitures a bogies.

Pour les voitures à bogies, l'oscillation se fait d'abord autour d'un centre instantané de rotation situé vers le haut de la voiture, environ à l'intersection des bielles inclinées de suspension de la traverse danseuse.

Puis, aussitôt que la traverse danseuse touche les grands

longerons de la caisse, le véhicule oscille autour d'un centre d'oscillation situé comme dans les voitures à deux ou trois essieux ; il y a alors un frottement de la traverse danseuse assez intense sur le longeron, pendant que la voiture continue à s'incliner.

Fig. 1



§ 3. — Locomotives.

Pour les locomotives, le centre d'oscillation est situé à peu près comme pour les voitures à deux ou trois essieux. M. Herdner, comme je l'ai dit, a déterminé sa position avec précision pour les machines à balanciers, cas que je n'avais pas examiné.

Ici le frottement qui s'oppose à l'oscillation en travers est assez intense, comme je l'ai montré au § 12 de mon mémoire de novembre, ce qui diminue les oscillations; cependant, ici les surfaces frottantes sont bien graissées, les lames de ressorts peuvent l'être aussi par les projections d'huile, ce qui fait que ces frottements peuvent être parfois moindres qu'on ne serait tenté de le croire.

CHAPITRE II.

Remarques sur divers problèmes du premier mémoire.

§ 4. — Interprétation des formules [40] [41] [42].

Je reprends les trois formules ci-contre de mon mémoire de novembre; l'équation [40] est :

$$\left.\begin{aligned} R_0 = R_2 \frac{b_1 + b_0}{2b_0} + P_1 \frac{\cos\alpha}{2} - Q_2 \frac{b_1 - b_0}{2b_0} - S_2 \frac{d}{b_0} \\ - \Phi_1 \frac{e}{b_0} \cos\alpha + P_1 \frac{e}{b_0} \sin\alpha + \Phi_1 \frac{\sin\alpha}{2} \end{aligned}\right\} [40]$$

Elle peut s'écrire :

$$\left.\begin{aligned} R_0 = (R_2 - Q_2) \frac{b_1}{2b_0} + (R_2 + Q_2) \frac{b_0}{2b_0} + P_1 \frac{\cos\alpha}{2} \\ - S_2 \frac{d}{b_0} - \Phi_1 \frac{e}{b_0} \cos\alpha + P_1 \frac{e}{b_0} \sin\alpha + \Phi_1 \frac{\sin\alpha}{2} \end{aligned}\right\} [40]'$$

Or $(Q_2 + R_2)$ ne dépend pas de b_1 ou écartement des ressorts d'un même essieu, comme il est facile de s'en assurer en ajoutant membre à membre les équations [15] et [16] de mon mémoire de novembre.

D'autre part, il est facile de voir que le terme

$$(R_2 - Q_2)\, b_1$$

est en réalité indépendant de b_1.

En effet, retranchons membre à membre les équations [15] et [16] on a :

$$Q_2 - R_2 = \frac{h_1}{b_1} [4\, \Phi_1 \cos \alpha = 2P_1 \sin \alpha]$$

$$\text{ou } (Q_2 - R_2)\, b_1 = h_1 [4\, \Phi_1 \cos \alpha - 2P_1 \sin \alpha]$$

Donc $(Q_2 - R_2)\, b_1$ est indépendant de b_1 c. q. f. d.

Ainsi, les deux premiers termes de l'équation [40]' sont indépendants de b_1 ; tous les autres termes de cette équation sont visiblement indépendants de b_1 ; *donc R_0 est indépendant de* b_1.

Reprenons l'équation [41].

$$Q_0 = (Q_2 + R_2) + P_1 \cos \alpha + \Phi_1 \sin \alpha - R_0 \quad [41]$$

on voit qu'elle est aussi indépendante de b_1. Reprenons l'équation [42]

$$S_0 = S_2 + \Phi_1 \cos \alpha - P_1 \sin \alpha$$

or, on sait que $S_2 = 2\, \Phi_1 \cos \alpha - P_1 \sin \alpha$ [équat. 17].

Donc S_0 est indépendant de b_1.

Nous arrivons donc à cette conclusion extrêmement curieuse que les trois réactions maxima sur les rails ou : Q_0, R_0, S_0, sont absolument indépendantes de b_1 *ou écartement des ressorts d'un même essieu.*

Cela paraît étonnant au premier abord, mais on s'en rend bien compte en y réfléchissant.

En effet, en rapprochant les ressorts, on augmente les trois réactions sur les ressorts, c'est évident ; mais, d'autre part, *l'effet* de ces réactions des ressorts diminue d'autant plus que ces ressorts sont plus rapprochés, puisque le bras de levier diminue ; on conçoit fort bien que la compensation se fasse et c'est justement ce qui a lieu.

J'insiste spécialement sur cette remarque, car elle montre pourquoi les véhicules à ressorts intérieurs ne sont pas plus instables que ceux qui ont des ressorts extérieurs.

Cependant il ne faut pas oublier que ces raisonnements supposent que le centre de gravité n'est pas très élevé. S'il est très élevé, ces formules ne sont pas tout à fait exactes, et, dans ce cas, je le répète, c'est la méthode du § 10 de mon mémoire de novembre qui est applicable si l'on désire avoir une grande précision ; j'y reviendrai du reste un peu plus loin.

Si le centre de gravité du poids suspendu coïncidait avec le centre d'oscillations, la force centrifuge ne donnerait lieu à aucune oscillation du véhicule sur ses ressorts. On pourrait alors employer des ressorts aussi flexibles qu'on voudrait sans que le véhicule soit instable en travers. Si G_1, était plus bas que C_1, tout serait renversé ; le véhicule oscillerait comme un hamac.

§ 5. — Simplification des formules [40], [41], [42].

On pourrait donc mettre les formules [40] [41] [42] sous une nouvelle forme qui ne contiendrait pas du tout b_1 ou écartement des ressorts.

On calculerait alors directement les réactions sur les rails sans passer par le calcul des réactions des ressorts. Mais ces formules seraient compliquées et, d'autre part, il est préférable de connaître les trois réactions des ressorts, qui sont fort intéressantes.

Je préfère donc conserver les équations [40] [41] [42] qui contiennent Q_2, R_2, S_2 ; mais je vais les simplifier avant de passer aux applications numériques.

L'équation [40]' peut s'écrire :

$$\left.\begin{aligned} R_0 = \frac{Q_2 + R_2}{2} - (Q_2 - R_2)\frac{b_1}{2b_0} + P_1\frac{\cos\alpha}{2} - S_2\frac{d}{b_0} \\ - \Phi_1\frac{e}{b_0}\cos\alpha + P_1\frac{e}{b_0}\sin\alpha + \Phi_1\frac{\sin\alpha}{2} \end{aligned}\right\} [40]'$$

on peut encore l'écrire :

$$\left.\begin{aligned} R_0 = \frac{Q_2 + R_2 + P_1\cos\alpha}{2} - \left(\frac{Q_2 - R_2}{2}\right)\frac{b_1}{b_0} - S_2\frac{d}{b_0} \\ - \Phi_1\frac{e}{b_0}\cos\alpha + P_1\frac{e}{b_0}\sin\alpha + \Phi_1\frac{\sin\alpha}{2} \end{aligned}\right\} [40]''$$

ou encore :

$$\left.\begin{aligned} R_0 = \frac{Q_2 + R_2 + P_1\cos\alpha + \Phi_1\sin\alpha}{2} \\ - \left[\left(\frac{Q_2 - R_2}{2}\right)\frac{b_1}{b_0} + S_2\frac{d}{b_0} + \Phi_1\frac{e}{b_0}\cos\alpha - P_1\frac{e}{b_0}\sin\alpha\right] \end{aligned}\right\} [40]''$$

Maintenant, observons que le premier terme de cette équation

représente à peu près exactement $\frac{P}{2}$ ou la moitié du poids du véhicule ; donc, finalement, l'équation [40]" peut s'écrire :

$$R_0 = \frac{P}{2} - \left[\left(\frac{Q_2 - R_2}{2} \right) \frac{b_1}{b_0} + S_2 \frac{d}{b_0} + \Phi_4 \frac{e}{b_0} - P_4 \frac{e}{b_0} \sin \alpha \right] \quad [40]$$

de même on trouverait :

$$Q_0 = \frac{P}{2} + \left[\left(\frac{Q_2 - R_2}{2} \right) \frac{b_1}{b_0} + S_2 \frac{d}{b_0} + \Phi_4 \frac{e}{b_0} - P_4 \frac{e}{b_0} \sin \alpha \right] \quad [41]$$

et, d'autre part, l'équation [42] peut s'écrire :

$$S_0 = S_2 + \Phi_4 - P_4 \sin \alpha = 2 \Phi_1 + \Phi_4 - P_4 \sin \alpha \quad [42]$$

Telles sont les trois équations simplifiées qui donnent les trois réactions sur le rail à l'entrée en courbe.

Pour la sortie de courbe, comme je l'ai dit dans mon mémoire de novembre, il n'y a qu'à prendre les mêmes équations inversées, mais avec $\Phi_4 = 0$. On a donc :

$$R'_0 = \frac{P}{2} + \left[\left(\frac{Q_2 - R_2}{2} \right) \frac{b_1}{b_0} + S_2 \frac{d}{b_0} + P_4 \frac{e}{b_0} \sin \alpha \right] \quad [40]$$

$$Q'_0 = \frac{P}{2} - \left[\left(\frac{Q_2 - R_2}{2} \right) \frac{b_1}{b_0} + S_2 \frac{d}{b_0} + P_4 \frac{e}{b_0} \sin \alpha \right] \quad [41]$$

$$S'_0 = 2 \Phi_1 + P_4 \sin \alpha. \quad [42]$$

Telles sont les équations simplifiées qui donnent les trois réactions sur les rails à la sortie de courbe.

§ 6. — Application des formules en tenant compte des frottements et de la hauteur du centre de gravité.

Dans mon mémoire de novembre, j'ai montré au § 10 comment l'on pouvait calculer graphiquement tous les éléments de l'oscillation en tenant compte des frottements et de la hauteur du centre de gravité de la caisse. Mais si l'on veut éviter la peine de faire ce petit tracé graphique, voici un moyen analytique très simple de voir ce qui se passe.

Dans mon mémoire d'août 1905 des *Annales des Mines*, j'ai montré que l'équilibre de la caisse est instable quand on a la relation :

$$m^2 - an < 0.$$

m est le demi-écartement des ressorts d'un même essieu.

n est la hauteur du centre de gravité de la caisse au-dessus du centre d'oscillations.

a est la flexion du ressort comptée depuis son état libre jusqu'à sa charge statique normale ; c'est ce que j'ai appelé « flèche statique » et qu'on pourrait mieux encore appeler « flexion statique ».

L'équilibre est donc instable si la hauteur n est supérieure à : $\frac{m^2}{a}$.

En pratique $n = 8$ mètres environ.

Ceci va nous permettre de donner une solution analytique du problème ; en d'autres termes, je vais montrer qu'on peut appliquer les formules [15] [16] [17] [18] [19] [20] [40] [41] [42] de mon mémoire de novembre avec une légère modification.

En effet, en pratique, n est souvent égal à 1 mètre environ au lieu de 8 mètres.

Or, si n était égal à 8 mètres (équilibre indifférent), alors l'influence de la hauteur du centre de gravité serait assez forte pour *annuler* le moment de redressement des ressorts ; donc, si $n = 1$ mètre, ce moment de redressement sera diminué d'un huitième de sa valeur.

Évaluons maintenant le frottement des lames de ressorts ; ce frottement est proportionnel à l'effort exercé par le ressort ; *le moment* des frottements des deux ressorts est donc constant, puisque l'un perd en compression ce que l'autre gagne pendant l'oscillation. Si le frottement était égal juste à 1 huitième ou 12 0/0 environ de la tension du ressort, alors on pourrait dire que l'influence active du centre de gravité élevé compense exactement l'influence passive des frottements des ressorts. En réalité, ce frottement n'est guère que de 6 0/0 au lieu de 12 0/0. Mais, en tenant compte des frottements des boîtes à graisse, on arriverait à 12 0/0 environ ; de sorte que, en résumé, *pour les voitures*, on peut dire que l'influence de l'altitude du centre de gravité compense à peu près l'influence des frottements, au moins pour les voitures à deux ou à trois essieux très modernes à ressorts très flexibles. Au contraire, pour les voitures plus anciennes, à ressorts moins souples, l'influence favorable des frottements dépasse sensiblement l'influence défavorable de l'altitude du centre de gravité de la caisse.

§ 7. — Cas des raccordements progressifs courts.

Dans mon mémoire de novembre, j'ai fait remarquer qu'il était impossible d'introduire dans les lignes existantes des raccordements paraboliques *longs*, comme ceux de la théorie de Nordling, à cause des dépenses que ce changement de tracé entraînerait; mais j'ai montré que des raccordements progressifs courts pouvaient toujours être introduits sans acquérir de nouveaux terrains, parce qu'ils n'exigent qu'un très faible ripage de la voie. Or, des raccordements progressifs, même courts, ont une très grande action pour diminuer les oscillations que j'étudie dans ces mémoires; ils suffisent pour détruire l'instantanéité de l'introduction de la force centrifuge et c'est tout ce qu'il faut ici.

Je pourrais donner un tracé graphique analogue à celui du § 10 de mon mémoire de novembre, pour étudier les oscillations en cas de raccordement court; mais je préfère ne pas allonger encore ce mémoire; je me contenterai de faire observer ceci :

J'ai montré que la durée d'oscillation complète des véhicules à ressorts très souples était de 1 seconde environ, soit une demi-seconde pour une oscillation simple; si le train marche à 140 kilom. à l'heure, il fera 19^{m}50, soit environ 20 mètres en une demi-seconde. Donc, si le raccordement progressif court a 20 mètres de longueur, il durera juste autant que l'oscillation simple; en d'autres termes, la force centrifuge croîtra de zéro à sa valeur maxima pendant cette oscillation. Avec 30 à 40 mètres, ce sera encore mieux; l'application de cette force centrifuge sera alors très progressive et tout inconvénient disparaîtra.

Donc, je le répète, les raccordements progressifs courts qu'on emploie assez souvent en pratique sont très efficaces et ne peuvent en rien constituer une gêne pour les Compagnies.

§ 8. — Cas du raccordement rapide du dévers.

On a proposé de supprimer les courbes de raccordements et de les remplacer par un raccordement rapide du dévers. Je pourrais étudier ce système par un tracé graphique analogue à celui du § 10 de mon mémoire de novembre, mais c'est inutile. Il est évident qu'avec un tel système on crée une action qui tend à faire osciller la caisse *en sens inverse* de l'oscillation que j'étudie, surtout si l'on opère le raccordement du dévers en faisant à la

fois monter un rail et descendre l'autre ; donc, on atténue ou on supprime l'oscillation *de la caisse*, ce qui est un avantage pour le confortable. Mais, au point de vue du danger, *il est masqué* et non pas supprimé; la diminution de pression de la roue sur le rail n'est pas diminuée par cet artifice ; elle peut même être augmentée.

En résumé, j'estime que ce système, bon pour le confortable, ne serait pas suffisant pour remplacer les courbes de raccordements courtes quand on dépassera les vitesses actuelles.

En résumé, les chemins de fer ne doivent pas être des montagnes russes et je ne suis pas partisan des raccordements trop rapides du dévers de la voie, pour les très grandes vitesses tout au moins ; je crois, du reste, être d'accord sur ce point avec l'opinion générale.

§ 9. — Cas des raccordements rapides du profil.

Les oscillations dues aux raccordements rapides du profil de la voie entière peuvent s'étudier aisément aussi par mes tracés graphiques ; ici encore, je ne suis pas d'avis d'adopter des raccordements rapides du profil, surtout pour les très grandes vitesses. Cette opinion est du reste conforme à celle qui a été émise à plusieurs reprises dans le Congrès international des Chemins de fer (1). L'oscillation qui résulte d'une variation brusque du profil est très facile à étudier aussi par le calcul; il n'y a qu'à évaluer la demi-force vive verticale de la caisse et son amortissement par les ressorts.

§ 10. — Influence des menottes.

M. Sabouret, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie de l'Ouest, a remarqué, dans ses expériences, que la durée des oscillations dépendait de la disposition des menottes d'attache des ressorts de suspension.

Cette observation s'explique aisément par mes formules. En effet, reportons-nous à la formule [3] de mon mémoire de novembre :

$$t' = \pi \frac{\rho}{\left(\frac{b_1}{2}\right)} \sqrt{\frac{a}{g}} \quad \text{(durée de l'oscillation)}$$

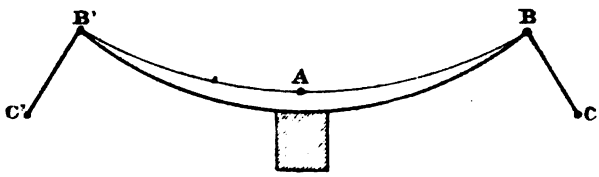
(1) Voir *Comptes rendus du Congrès International des Chemins de Fer.* Congrès de Paris, 1900.

Dans cette formule, a désigne ce que j'ai appelé « flèche statique » ou, si l'on veut, « flexion statique » ; c'est la flexion du ressort depuis la charge nulle jusqu'à sa charge statique normale ; a est encore égal à KP, P étant la charge normale du ressort et K sa flexibilité par unité de poids ; ρ est le rayon de giration de la caisse autour du centre d'oscillation et b_1 l'écartement des ressorts du même essieu. Cela posé, arrivons à l'influence des menottes.

Imaginons que le véhicule se déplace sur une voie horizontale et soit soumis à une légère oscillation due à une cause quelconque.

Appelons A (*fig. 2*) le point de contact du ressort avec la boîte à huile, B et B′ les extrémités du ressort attachées aux

Fig. 2



menottes, C et C′ les extrémités des menottes attachées au châssis de la voiture. Dans l'oscillation, le point A ne se déplace pas verticalement ; appelons ζ le déplacement vertical de B ou de B′ pendant l'oscillation et ζ' le déplacement vertical de C ou de C′ pendant la même oscillation : appelons θ le rapport $\frac{\zeta'}{\zeta}$, qui est en général un peu supérieur à l'unité. Il est clair que cela revient à remplacer le ressort par un autre ressort θ fois plus flexible.

Il en résulte que, pour tenir compte de l'influence des menottes, il suffit de remplacer a par $a\theta$ dans la formule ci-dessus. Il en est de même pour toutes les autres formules de mes divers mémoires qui contiennent a ; on y tiendra compte de l'influence des menottes en remplaçant a par $a\theta$.

Quant à l'évaluation de θ, on peut la faire d'après le poids P, les données du ressort, et celles des menottes, soit par un procédé graphique simple, soit par le calcul différentiel, soit par une expérience.

Le calcul qui précède n'est absolument rigoureux que pour les petites oscillations ; si θ varie suivant la flexion du ressort,

ce calcul est cependant bien suffisant pour la pratique. Si l'on voulait avoir plus de précision pour évaluer l'influence des menottes dans une très grande oscillation, les divers tracés graphiques de mes mémoires le permettraient ; mais alors les lignes droites représentant les flexions des ressorts seraient remplacées par des lignes légèrement courbées.

Il va de soi que si θ est supérieur à l'unité, la suspension est rendue θ fois plus douce par ce fait, mais le ressort travaille davantage ; il n'y a donc pas là un moyen de faire une économie sur le poids du ressort. L'influence des menottes est donc importante même au point de vue de la résistance des ressorts à la rupture.

CHAPITRE III

Choc du boudin des roues sur le rail à l'entrée en courbe et à la sortie.

§ 11. — Évaluation analytique.

Dans mon mémoire de novembre, j'ai étudié § 18 l'oscillation autour d'un axe vertical ou, plus exactement, le choc du boudin ou mentonnet du bandage de l'essieu d'avant sur le rail, à l'entrée en courbe et à la sortie. Je vais évaluer analytiquement la demi-force vive qu'il faut subitement imprimer au véhicule dans cette circonstance ; il s'agit de la demi-force vive de rotation autour d'un axe vertical passant par son centre de gravité.

Soit P le poids du véhicule, ρ son rayon de giration autour de l'axe en question, r le rayon de la courbe de la voie et v la vitesse du train.

On peut considérer le véhicule comme composé de deux masses de poids $\frac{P}{2}$ situées à une distance ρ du centre de gravité ; il en résulte que la vitesse de rotation de ces deux masses, considérées *linéairement*, est :

$$v \times \frac{\rho}{r} ;$$

donc la demi-force vive à acquérir par l'ensemble de ces deux masses est :

$$T = \frac{1}{2} \times \frac{P}{g} \left[v \frac{\rho}{r} \right]^2 .$$

Cette formule permet de calculer la demi-force vive que doit pouvoir absorber l'appareil de déplacement latéral.

§ 12. — Applications numériques.

Nous allons faire deux applications numériques pour le même véhicule, mais avec des vitesses différentes et des rayons r différents choisis de telle façon que la force centrifuge soit la même dans les deux cas.

Prenons une machine pesant 60 000 kg avec un rayon de giration ρ égal à 2 m, un rayon de courbure de la voie r égal à 800 m. et une vitesse de 140 km à l'heure ou 39 m par seconde.

$$T = \frac{1}{2} \times \frac{60\,000}{g} \left[39 \times \frac{2}{800} \right]^2 \quad \text{ou}$$

$$T = 30 \text{ kgm environ.}$$

Maintenant considérons le même cas, avec un rayon r, quatre fois plus faible ou 200 m, et une vitesse deux fois plus faible ou 70 km à l'heure ou 19,50 m par seconde; la force centrifuge restera la même, et les oscillations aussi, puisque $\frac{v^2}{r}$ n'est pas changé on aura :

$$T = \frac{1}{2} \times \frac{60\,000}{g} \left[19{,}50 \times \frac{2}{200} \right]^2$$

$$T = 120 \text{ kgm.}$$

§ 13. — Influence comparative de ce choc et des oscillations autour d'un axe horizontal.

On voit donc que ce choc est plus redoutable pour les faibles vitesses et les courbes de petits rayons que pour les grandes vitesses et les courbes de grands rayons, à égalité de force centrifuge. Cela ne veut pas dire qu'il soit négligeable; je montrerai au contraire qu'il nécessite l'emploi d'une élasticité latérale bien étudiée pour tout le matériel, mais enfin cela veut dire, comme on va le voir, qu'avec les très grandes vitesses et les très grands rayons, l'influence de ce choc s'efface à côté de l'influence plus redoutable des oscillations autour d'un axe horizontal passant par le centre d'oscillations.

Pour les tramways, au contraire, avec courbes de très faibles rayons, comme pour le métropolitain de Paris, l'influence du choc l'emporte sur celle des oscillations en question.

On peut exprimer la même idée analytiquement ainsi qu'il suit :

La perturbation autour d'un axe horizontal (choc en question) est proportionnelle à $\frac{v^2}{r}$ ou à la force centrifuge.

La perturbation autour d'un axe vertical est proportionnelle à $\frac{v^2}{r^2}$ d'après la formule [1] ci-dessus.

Donc le rapport :

$$\frac{\text{Perturb. axe horiz.}}{\text{Perturb. axe vert.}} = C^{te} \times \frac{\left(\frac{v^2}{r}\right)}{\left(\frac{v^2}{r^2}\right)} = C^{te} \times r.$$

Donc, en adoptant pour chaque rayon de courbure la vitesse limite donnant la même force centrifuge, l'influence relative des oscillations à axe horizontal va en augmentant proportionnellement au rayon de la courbe.

Cela explique pourquoi les oscillations que j'ai étudiées prennent une grande importance pour les très grandes vitesses et les grands rayons de courbure.

Il me reste à montrer que ce choc ne 30 kgm, correspondant à une locomotive de 60 t entrant à 140 km à l'heure dans une courbe de 800 m de rayon, est peu de chose à côté des actions puissantes qui entrent en jeu dans l'oscillation autour d'un axe horizontal dans les mêmes conditions.

Nous allons comparer avec le travail de la force centrifuge pendant la demi-oscillation ; cette force centrifuge est égale, avons-nous vu, à un cinquième environ du poids suspendu ou 50 t environ, soit 10 t ou 10 000 kg. Le chemin parcouru par cette force centrifuge, mesuré au centre de gravité du poids suspendu, est à peu près le double du chemin parcouru par les ressorts, qui *sont intérieurs* dans les locomotives. Supposons que ces ressorts aient 5 cm de flexion statique; supposons encore que, dans l'oscillation, *limitée par les frottements*, la flexion de ces ressorts varie depuis 0,5 de la flexion statique jusqu'à 1,5 de cette flexion ; il en résulte que les ressorts fléchiront de 5 cm et que le centre de gravité se déplacera du double ou 10 cm. Le travail de la force centrifuge est donc :

$$10\,000 \times 0{,}10 = 1000 \text{ kilogrammètres.}$$

Comme on le voit, les 30 kgm de choc autour d'un axe vertical sont bien peu de chose par rapport à ces 1000 kgm de travail de la force centrifuge, dans la grande oscillation d'entrée en courbe.

Quand bien même l'oscillation du centre de gravité serait limitée à 5 cm, par suite de frottements intenses, il y aurait encore 500 kgm de travail de la force centrifuge, ce qui est considérable en comparaison des 30 kgm.

On voit donc bien que c'est l'oscillation autour d'un axe horizontal qui, aux très grandes vitesses, est prédominante; c'est le contraire pour le cas des tramways, je le répète.

On peut faire à l'évaluation analytique du § 11 l'objection suivante : en réalité, l'oscillation autour d'un axe vertical se complique d'une oscillation autour d'un axe horizontal au moment du choc du boudin : il en résulte une légère compression des ressorts d'avant, d'un côté, et une légère décompression de l'autre; cela a pour conséquence de diminuer un peu la demi-force vive à absorber par l'appareil d'élasticité latéral; mais, de plus, on peut se demander si la variation de compression des ressorts a une certaine importance; la réponse est négative, puisque ce genre d'oscillations, pour les grandes vitesses, est négligeable par rapport à l'autre.

CHAPITRE IV

Applications pratiques des formules.

§ 14. — Tableau des applications numériques.

Nous allons donner l'application pratique des formules [15], [16], [17], [18], [19], [20], [40]^{bis}, [41]^{bis}, [42]^{bis}, [40]^{ter}, [41]^{ter}, [42]^{ter}, de mes mémoires, applications dont j'ai, du reste, déjà dit quelques mots dans mon mémoire de novembre. Appliquons au cas d'une voiture à voyageurs marchant à 140 km à l'heure et entrant dans une courbe de 800 m de rayon sans courbes de raccordements :

On trouve :

$$\Phi_1 = \frac{P_1}{g} \times \frac{v^2}{r} = \frac{P}{g} \times \frac{(39)^2}{800} = P_1 \times 0{,}193.$$

La force centrifuge est donc égale à un cinquième environ du poids dans ces conditions.

J'appelle encore G_1 le centre de gravité de la caisse suspendue, G le centre de gravité de l'ensemble du véhicule et C_1 le centre d'oscillations que je suppose situé à 0,70 m de hauteur au-dessus des rails.

Supposons que les données soient les suivantes :

1° Données pour le calcul des oscillations de la caisse :

$h_1 = 1{,}20$ m (hauteur de G_1 au-dessus de C_1) ;
$b_1 = 1{,}95$ m (écartement des ressorts d'un même essieu).

2° Données pour le calcul des réactions sur les rails :

$h = 1{,}67$ m (hauteur de G au-dessus des rails) ;
$b_0 = 1{,}50$ m (écartement des rails) ;
$d = 0{,}70$ m (hauteur du centre d'oscillation au-dessus des rails) ;
$e = 0{,}50$ m (rayon des roues).

En appliquant les formules ci-dessus rappelées, on trouve les résultants mentionnés dans le tableau ci-après (p. 638).

Ce tableau s'applique, je le répète, au cas des voitures de luxe, c'est-à-dire aux véhicules *les plus sujets aux oscillations en travers ;* c'est donc à dessein que j'ai choisi cet exemple.

Pour les locomotives, les ressorts sont intérieurs ; or on a vu, § 4 ci-dessus, *que l'écartement des ressorts n'influe pas sur la valeur des trois réactions sur le rail* ; donc, en principe, les quatre dernières lignes du tableau s'appliquent au cas des locomotives. Il est vrai que dans les locomotives, le centre d'oscillation et le centre de gravité du poids suspendu sont un peu plus élevés que dans les voitures. Mais, d'autre part, on a vu, § 12 de mon mémoire de novembre, que les machines ont des coincements des boites à huile dans leurs guidages qui donnent de puissants frottements résistant aux oscillations en travers. Il en résulte que, finalement, pour les locomotives, les oscillations d'entrée en courbe et de sortie produisent des effets moins redoutables que pour les voitures de luxe à voyageurs.

Donc, pour les locomotives, les quatre dernières lignes du tableau représentent plutôt des *maxima* des réactions *sur les rails.*

Tableau des applications numériques.

(Vitesse de 140 km à l'heure et courbe de 800 m de rayon.)

		COURBES DE RACCORDEMENT LONGUES			PAS DE COURBES DE RACCORDEMENT					
					DÉVERS COMPLET		DÉVERS NUL		DEMI-DÉVERS	
		DÉVERS COMPLET	DÉVERS NUL	DEMI-DÉVERS	Entrée en courbe	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Réactions des ressorts	Q_2 ou Q_3 en fonction de P_1.	»	»	»	0,63 P_1	0,26 P_1	0,75 P_1	0,38 P_1	0,69 P_1	0,32 P_1
	R_2 ou R_3 en fonction de P_1.	»	»	»	0,38 P_1	0,73 P_1	0,26 P_1	0,61 P_1	0,32 P_1	0,67 P_1
	S_2 en fonction de P_1. . . .	»	»	»	0,19 P_1	0,38 P_1	0,38 P_1	0,19 P_1	0,29 P_1	0,29 P_1
	Déchargement proportionnel des ressorts	»	»	»	0,24	0,48	0,48	0,24	0,36	0,36
Réactions des roues sur les rails	Q_0 en fonction de P	0,50 P	0,72 P	0,61 P	0,71 P	0,07 P	0,94 P	0,30 P	0,82 P	0,19 P
	R_0 en fonction de P	0,50 P	0,28 P	0,39 P	0,30 P	0,92 P	0,07 P	0,69 P	0,19 P	0,80 P
	S_0 en fonction de P	»	0,19 P	0,09 P	0,16 P	0,35 P	0,33 P	0,16 P	0,25 P	0,23 P
	Déchargement proportionnel des rails.	»	0,44	0,22	0,41	0,86	0,86	0,41	0,62	0,62

§ 15. — Cas des courbes de différents rayons.

L'application numérique qui précède suppose que la vitesse est de 140 km et que la courbe a 800 m de rayon. Comme je l'ai dit dans mon mémoire de novembre, la même application, et, par suite, le même tableau sont encore applicables dans tous les autres cas où la force centrifuge est la même, c'est-à-dire égale à un cinquième environ de la pesanteur.

Le tableau s'applique donc à divers cas qu'on obtient en multipliant les vitesses par n et les rayons par $\sqrt{n}$, n étant un nombre quelconque, car alors la force centrifuge, qui est proportionnelle à $\frac{v^2}{r}$, restera constante.

Le tableau s'applique donc sans aucune modification aux cas suivants :

$r =$	50 m	et vitesse de	35 km	à l'heure.
$r =$	100	—	50	—
$r =$	200	—	70	—
$r =$	400	—	100	—
$r =$	800	—	140	—
$r =$	1 600	—	200	—
$r =$	3 500	—	300	—

Mais il ne faut pas oublier que le tableau a été établi avec les dimensions habituelles du matériel des chemins de fer. Si l'on avait affaire à une locomotive ayant un centre de gravité extrêmement élevé, ou à une voiture à impériale, il y aurait lieu de refaire les calculs à cet effet.

Je rappelle encore que ces chiffres s'appliquent au cas où il n'y a pas de courbes de raccordements du tout. Je le répète, avec des courtes courbes de raccordement ou avec les moyens que j'ai indiqués dans mon premier mémoire, ces vitesses peuvent être notablement dépassées, avec les mêmes rayons de courbes.

Il ne faut pas oublier que le tableau ne donne que des calculs tout faits qui ne représentent qu'une première approximation ; je le répète c'est le § 10 de mon mémoire de novembre qui donne les éléments exacts des oscillations, en tenant compte de toutes les données qui interviennent.

CHAPITRE V

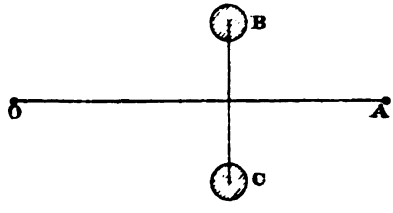
Application de la théorie du gyroscope aux problèmes considérés.

§ 16. — Théorie de Résal.

Résal, le regretté membre de l'Institut, a donné, dans sa mécanique générale, une théorie de la toupie gyroscopique dans laquelle figure une formule qui peut rendre des services pour l'étude des problèmes considérés.

Je représente *(fig. 3)* une toupie gyroscopique composée d'un tore BC tournant très rapidement autour d'un axe OA, en étant fou sur cet axe. Je suppose qu'on tienne le point O de l'axe dans la main gauche, et qu'on prenne le point A du même axe dans la main droite, en cherchant à donner à cet axe un déplacement angulaire autour du point O.

Fig. 3



Soit ω la vitesse angulaire de rotation de la toupie autour de son axe, I le moment d'inertie du tore par rapport au même axe, F la réaction ressentie par la main droite, en A, normalement à OA, pour déplacer cet axe angulairement, ω' la vitesse angulaire du déplaement de cet axe, et b la longueur OA.

Résal a donné la formule suivante, qui évalue la force F. dont la direction est perpendiculaire à l'élément de chemin parcouru par le point A de l'axe.

$$F = \frac{I\omega\omega'}{b} \quad (1).$$

§ 17. — Réaction due au déplacement vertical de l'axe des roues.

Nous allons appliquer cette formule à la solution du problème suivant :

Si les oscillations en travers que nous avons étudiées sont

(1) *Traité de mécanique* de Résal, édition de 1895, tome premier, page 261.

assez fortes pour que la compression des ressorts soit nulle, et que la roue se détache un peu du rail, que se passera-t-il ?

Dans ce cas, le point fixe n'est pas sur l'axe du gyroscope ; il est situé au contact de *l'autre roue* avec le rail ; il y a, en réalité, *une rotation* de l'axe autour du centre de l'autre roue, plus *une translation*. Or, nous savons que la *rotation seule* est à prendre en considération, la translation ne donnant aucune résistance gyroscopique ; donc nous sommes dans le cas du problème de Résal.

Appliquons au cas d'un essieu de voiture avec roues de 1 m de diamètre. Le moment d'inertie doit être pris pour l'ensemble des deux roues. Il est égal à 15 environ dans le cas actuel ; en effet, avec deux roues pesant, à la jante, 600 kg à elles deux, on a :

$$I = \Sigma mr^2 = \frac{600}{g}(0{,}5)^2 = 60 \times \frac{1}{4} = 15.$$

Donc $I = 15$; d'autre part $b = 1{,}50$ m.

Calculons ω avec $v = 39$ m par seconde ou 140 km à l'heure on a :

$$\omega = \frac{39}{0{,}5\text{ m}} = 78 \quad \text{environ.}$$

Supposons que la roue se soulève de 0,01 m en un dixième de seconde durée approximative de la période dangereuse de l'oscillation ; la vitesse de relèvement sera 0,1 m par seconde.

On a donc :

$$v' = 0{,}1\text{ m} = \omega' b,$$

d'ou :

$$\omega' = \frac{0{,}1}{b} = \frac{0{,}1}{1{,}5} = 0{,}066 \quad \text{environ.}$$

On a alors, en appliquant la formule de Résal :

$$F = I\frac{\omega\omega'}{b} = 15 \times \frac{78 \times 0{,}066}{1{,}5},$$

$$F = 51 \text{ kg environ.}$$

Dans le sens vertical, il n'y a pas d'effort gyroscopique à considérer, pouvant empêcher la roue de se décoller du rail ; mais dans le sens parallèle aux rails, la roue est soumise, de ce fait, à la force F, égale à 51 kilos dans le cas actuel.

Passons au cas d'un essieu moteur de locomotive avec deux roues de 2 m de diamètre.

Le poids des deux jantes est ici de 2000 kg environ. On a donc :

$$I = \Sigma mr^2 = \frac{2000}{g} \times (1)^2 = 200 \text{ environ.}$$

Mais, d'autre part, ω est deux fois moindre que dans le cas précédent, ou : $\omega = \frac{78}{2} = 39$.

On a donc :

$$F = 200 \times \frac{39 \times 0{,}066}{1{,}5},$$

$$F = 343 \text{ kg}.$$

Cet effort est encore bien faible mais, néanmoins, si la roue était détachée du rail, l'effort F, parallèle aux rails, pourrait faire dévier assez l'essieu pour que la roue retombe de travers, à ces énormes vitesses.

§ 18. — Réaction due a la rotation horizontale de l'axe des roues.

Maintenant, Foucault lui-même s'est demandé si cet effet gyroscopique n'avait pas, dans les chemins de fer, une action *malfaisante* qui est la suivante : cette action ne va-t-elle pas faire dérailler la roue en la soulevant, quand le véhicule entre subitement en courbe sans courbe de raccordement? Foucault avait posé la question sans la résoudre (1); il est facile de voir que cet effet gyroscopique est encore négligeable, en appliquant la même formule de Résal.

Pour y arriver, évaluons la vitesse angulaire ω' que l'essieu atteint dans sa rotation autour d'un axe vertical, pendant que le véhicule circule dans la courbe de 800 m de rayon à 140 km à l'heure de vitesse ou 39 m par seconde.

On a évidemment : $v = \omega' r$,

ou : $\omega' = \frac{v}{r} = \frac{39}{800}$,

ou $\omega' = 0{,}05$ environ.

(1) Voir les *Comptes rendus des travaux scientifiques* de Léon Foucault. Paris, Gauthier-Villars.

Ce chiffre est légèrement inférieur au chiffre $\omega' = 0{,}066$ du paragraphe précédent. Donc, l'action gyroscopique est ici encore moindre que dans le paragraphe précédent; elle est donc encore négligeable.

§ 19. — Résistance due a l'inertie des roues.

Voyons maintenant quelle résistance la roue soulevée offrira, par son inertie seulement.

Reprenons le cas de la roue de voiture soulevée de 1 cm en un dixième de seconde; elle pèse 500 kg en tout. Supposons le mouvement uniformément accéléré;

On a : $$e = \frac{1}{2}\gamma t^2,$$

ou ici : $$0{,}01 \text{ m} = \frac{1}{2}\gamma(0{,}1)^2,$$

ou : $$0{,}02 = \gamma \times 0{,}01 \quad \text{ou} \quad \gamma = \frac{0{,}02}{0{,}01},$$

ou : $$\gamma = 2.$$

Donc $\gamma = 2$ au lieu de $g = 9{,}8$, accélération de la pesanteur; donc la force d'inertie n'est ici qu'un cinquième du poids ou $\frac{500}{5} = 100$ kg; c'est insignifiant.

Ce serait insignifiant aussi pour une roue de machine.

§ 20. — Conclusion relative a l'action gyroscopique et a l'action de l'inertie des roues.

Donc, en résumé, l'action gyroscopique des roues, comme leur inertie, n'ont pas ici une influence sensible sur les déraillements tant que les roues ne sont pas décollées des rails; l'action gyroscopique serait à examiner de plus près, si les roues étaient sujettes à se détacher sensiblement des rails, ce qu'il faut à tout prix s'efforcer d'éviter.

CHAPITRE VI

Systèmes divers permettant le passage dans les courbes et donnant l'élasticité latérale du matériel.

§ 21. — Principes des systèmes.

Je ne donnerai pas ici la description complète des systèmes divers qui permettent au matériel de passer dans les courbes: ces systèmes sont connus des Ingénieurs de chemins de fer et sont décrits dans les ouvrages spéciaux. Mais je vais donner une sorte de classification de ces systèmes, en insistant spécialement sur leurs qualités convenant spécialement pour amortir rapidement les diverses oscillations.

D'une façon générale, il y a lieu d'observer que ces systèmes ont été imaginés pour permettre le passage facile du matériel dans les courbes, sans donner lieu à une trop grande augmentation de la résistance à la traction. Ce n'est qu'accessoirement, par hasard, pour ainsi dire, que certains de ces systèmes se trouvent avoir les qualités voulues pour amortir les oscillations.

§ 22. — Propriétés des systèmes.

Avant de classer les systèmes, commençons par bien définir les qualités qu'on peut leur demander.

(α) *Déplacement latéral.* — On demande avant tout à ces appareils de permettre le déplacement latéral de certains essieux pour permettre le passage dans les courbes.

(β) *Rappel du déplacement latéral.* — On donne souvent à ces appareils un mouvement de rappel du déplacement latéral qui sert à ramener l'essieu dans sa position normale quand il n'est pas obligé de se déplacer par suite des courbes.

(γ) *Frottement du déplacement latéral.* — Ce déplacement latéral peut se faire avec de grands frottements comme dans le cas de l'emploi des plans inclinés ou de la plupart des bogies des machines, ou avec de faibles frottements comme dans l'emploi des menottes d'attache à anneaux des ressorts. Jusqu'à présent,

on a généralement considéré ces frottements comme un défaut. Je montrerai que c'est, au contraire, un grand avantage; ce frottement sert à amortir diverses oscillations, qualité essentielle pour les empêcher d'augmenter indéfiniment, ce qui peut occasionner des déraillements. Cependant l'excès de ces frottements est un défaut, car il en résulte une trop forte action latérale sur la voie, dans les oscillations horizontales, et cela nuit au confortable.

(δ) *Déplacement radial.* — On appelle déplacement *radial* la faculté qu'on donne à certains essieux de se déplacer en tournant autour d'un axe *vertical* de manière que l'essieu puisse rester normal aux rails, ce qui permet aux plans des roues d'être tangents à ces mêmes rails; cette disposition sert à empêcher les boudins de frotter obliquement sur les rails, frottement qui donne lieu à un grand supplément d'effort de traction.

(ε) *Rappel du déplacement radial.* — Ces systèmes sont quelquefois munis d'un mouvement de rappel tendant à ramener l'essieu dans sa position habituelle.

(η) *Frottements du déplacement radial.* — Ce déplacement radial se fait généralement en donnant naissance à des frottements plus ou moins forts dont j'étudierai l'influence généralement fâcheuse (voir § 40).

§ 23. — Classification des systèmes.

(α) *Plans inclinés.* — Un système très employé pour les essieux des machines, c'est le déplacement latéral à plans inclinés; ce système comporte en lui-même *le rappel* et *le frottement* du déplacement.

(β) *Déplacement latéral à ressorts ou à bielles.* — Ici, le rappel du déplacement de l'essieu est dû à des ressorts. Quant *au frottement du déplacement*, il est intense si le déplacement se fait sur des glissières. Il est plus léger s'il se fait par suspension de bielles; il se compose alors : 1° du frottement des axes des bielles, qui est notable si les axes sont gros et si les bielles sont courtes; 2° d'une partie du frottement des lames des ressorts de suspension, si l'appareil de rappel fait intervenir une composante de la pesanteur.

(γ) *Menottes à anneaux.* — Les menottes à anneaux qui servent à attacher les ressorts des voitures, permettent en même temps un déplacement *latéral* et un déplacement *radial* de l'essieu, avec mouvement de rappel automatique dans les deux sens. Le double jeu qui existe entre les boîtes à graisse et les plaques de garde permet ces deux déplacements.

Ces mouvements de rappel tiennent à ce que les anneaux tendent *à soulever* le véhicule dans ces déplacements, en mettant en jeu les ressorts de suspension eux-mêmes.

Quant aux frottements de ces deux déplacements, ils existent et sont dus aux frottements des lames des ressorts de suspension.

Mais il est important d'observer que la puissance de ces mouvements de rappel et la puissance de leurs frottements sont presque nuls pour les petits déplacements ; ils ne sont importants que pour les grands. Il en résulte que l'emploi des menottes à anneaux, tout en rendant des services, est cependant une solution très incomplète ; les véhicules qui en sont munis sont sujets à des oscillations permanentes de lacet, qui nuisent au confortable, pour les vitesses actuelles. On peut diminuer grandement leurs inconvénients par un système d'attelage bien compris et bien serré.

(δ) *Bissel. — Boîtes radiales.* — Dans le Bissel et dans les boîtes radiales il y a, en même temps, un déplacement *latéral* et un déplacement *radial*, avec rappel et frottements. Mais les deux déplacements sont fonction l'un de l'autre ; il en résulte que, avec un déplacement latéral donné, la position radiale de l'essieu n'est pas toujours bien obtenue.

(ε) *Bogies des machines.* — Le système le plus parfait, incontestablement, est le bogie des locomotives. Il comporte, en général, un déplacement latéral de l'ensemble du bogie avec rappel par plan incliné ou par ressort.

Le frottement de ce déplacement latéral est, le plus souvent, très intense, sauf dans le cas du rappel par suspension de bielles. Mais, même dans ce dernier cas, le frottement du déplacement latéral peut être suffisant, pour les mêmes motifs qu'au (β) ci-dessus. Quant au déplacement radial, il est merveilleusement assuré par la rotation du bogie autour de sa cheville ouvrière ; cette rotation comporte quelquefois un rappel par plan incliné hélicoïdal ou autrement.

Mais il faut éviter que ces frottements du déplacement rotatif

ne soient trop forts, car alors la qualité essentielle du bogie disparaît (voir plus loin § 40).

(η) *Bogies des voitures de luxe.* — Les bogies des voitures de luxe sont moins bien compris que les bogies des machines. Dans ces appareils, le déplacement latéral de la traverse danseuse est trop facile et se fait avec trop peu de frottements.

De là des oscillations permanentes de lacet très désagréables. De plus, dans ces bogies, le déplacement rotatif se fait avec un frottement trop intense sous l'action de la force centrifuge ; les glissières de la rotation donnent alors lieu à un frottement trop intense pendant la rotation, comme l'a fait observer M. Gustave Richard, d'après les travaux des Ingénieurs américains (voir § 40).

Pour les très grandes vitesses de l'avenir, on devra renoncer à ces appareils et les construire comme ceux des locomotives ou à peu près, avec beaucoup plus de flexion statique des ressorts.

(θ) *Jeu latéral simple.* — Dans l'origine, on se contentait de donner au matériel des jeux simples, à savoir : 1° le jeu entre les bandages et les rails, avec surécartement dans les courbes, ce qui existe encore ; 2° le jeu entre les boîtes à huile et les plaques de garde permettant le déplacement latéral ; 3° le jeu entre les boîtes à huile et les plaques de garde permettant le déplacement radial.

Ces divers systèmes, employés seuls, sont absolument insuffisants pour les très grandes vitesses, car ils ne peuvent assurer l'amortissement convenable des oscillations dues à des causes répétées, en cas de synchronisme défavorable ; ils donnent lieu à des chocs durs des boudins sur les rails qui peuvent entraîner des déraillements.

§ 24. — Amortissement des oscillations par ces divers systèmes.

(ι) *Amortissement du choc à l'entrée en courbe et à la sortie.* — J'ai déjà calculé exactement, § 11 ci-dessus, le nombre de kilogrammètres correspondant à ce choc. Il est facile d'en conclure les conditions d'établissement des appareils d'élasticité latérale, en se basant sur les courbes du plus petit rayon de la ligne qui constituent le cas le plus défavorable.

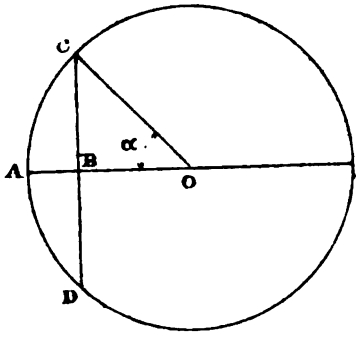
En résumé, il était souvent difficile de découvrir ces anomalies en temps utile jusqu'à l'invention des wagons d'expériences permettant de signaler ces défauts.

§ 26. — Tableau des rayons, des cordes et des flèches.

Pour bien se rendre compte de ces variations de rayons de courbures, il est nécessaire de connaître les relations entre le rayon d'une courbe, une corde de longueur donnée et la flèche correspondante.

Je représente (*fig.* 4) la courbe de rayon r, avec la corde $CD = l$ et la flèche $AB = f$; soit α l'angle AOC.

Fig. 4



On a :

$$f = r\,(1 - \cos \alpha).$$

D'autre part :

$$\sin \alpha = \frac{\left(\frac{l}{2}\right)}{r} = \frac{l}{2r}.$$

Donc, α est l'angle dont le sinus est $\frac{l}{2r}$.

Donc, pour faire mon tableau, je calculerai les valeurs de α correspondant aux diverses valeurs de r et de l; puis je calculerai la valeur de f d'après la formule : $f = r(1 - \cos \alpha)$ ci-dessus.

Voici le tableau en question qui donne les flèches en fonction des rayons et des cordes.

LONGUEUR DE LA CORDE l	RAYON DE					
	100 m	200 m	400 m	800 m	1 600 m	3 200 m
m	m	m	m	m	m	m
5	0,031	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001
10	0,130	0,062	0,031	0,016	0,008	0,004
20	0,500	0,260	0,120	0,064	0,032	0,016
50	3,200	1,460	0,800	0,400	0,200	0,100
100	13,400	6,400	3,200	1,840	0,920	0,460

On verra plus loin l'utilité de ce tableau.

des rails? Nullement, car il n'y a pas d'entretoisements obliques; il n'y a que des rectangles absolument déformables, car les points d'attaches des rails sur les traverses sont presque des articulations. Dans ces conditions, la résistance de la voie avec efforts horizontaux ne dépasse guère le double de la résistance horizontale d'un seul rail ; c'est fort peu, assurément, étant donné que le moment d'inertie des rails dans le sens horizontal est faible. Il en résulte que la voie se prête assez facilement à des courbes horizontales sinueuses, si les circonstances tendent à lui donner cette forme.

Le remède serait de réunir toutes les traverses par des entretoisements obliques, pour que l'ensemble forme une série de triangles indéformables.

Jusqu'à présent, on a reculé devant cette complication qui entraînerait une grande dépense; peut-être sera-t-on obligé d'en arriver là un jour, pour les lignes à trains de très grandes vitesses, surtout au voisinage des joints.

Naturellement, ces déformations sont plus grandes au voisinage des joints, surtout s'ils sont concordants. On peut trouver là un motif pour adopter des joints discordants ou alternés; mais, à mon avis, dans ce cas, les joints doivent être peu éloignés, comme on le fait parfois sur certains réseaux ; il faut éviter de mettre un joint de rail juste au milieu du rail de l'autre file, comme je l'ai montré dans mes travaux des *Annales des Mines*, système qui est à peu près abandonné. Les ripages de la voie dont il s'agit ne se produisent que très lentement, petit à petit, au fur et à mesure du passage des trains. Si la voie est parfaitement surveillée, on y porte remède en temps utile; mais ce n'est pas toujours facile de voir ces défauts de suite.

En alignement droit, l'œil observe assez bien ces anomalies; en courbe, c'est bien plus difficile; l'œil n'a guère alors que la voie voisine comme repère, à cause de l'écartement des deux voies qui devient anormal. Mais il est possible que les poseurs corrigent quelquefois la voie qui est normale au lieu de corriger l'autre ; à force de faire des corrections, il peut en résulter un déplacement d'ensemble des deux voies et du ballast lui-même, de sorte que, finalement, le rayon de courbure se trouve anormal en un point de la ligne. Pour constater ce défaut, il n'y avait guère, jusqu'à présent, que les mesures de flèches; c'est une opération longue qu'on ne peut pas répéter souvent sur tous les points de toutes les courbes.

CHAPITRE VIII

Répétition des oscillations dues aux variations brusques et anormales du rayon de courbure de la voie.

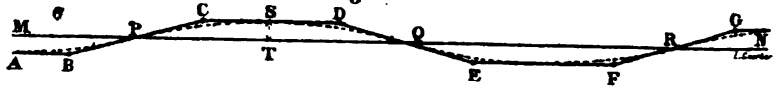
§ 29. — Dangers de ces répétitions.

On comprend aisément, d'après l'application qui précède, que le matériel résistera assez bien à une variation de rayon de courbure à cause des frottements qui résistent à son oscillation autour du centre d'oscillations. Mais, s'il se produit *plusieurs* variations de courbure, et si ces variations sont espacées de manière à créer un synchronisme défavorable avec la durée naturelle des oscillations du véhicule sur ses ressorts, il pourra arriver que ces oscillations aillent en augmentant jusqu'à ce qu'il en résulte un réel danger de déraillement; c'est cette question que je vais examiner ici; j'étudierai plus loin la superposition possible de ces oscillations répétées avec d'autres oscillations répétées.

§ 30. — Divers genres de variations de rayons de courbure.

Supposons qu'il s'agisse d'une voie d'un type un peu ancien, avec rails de 8 m et des éclisses simples en porte-à-faux. Dans ce cas, les joints sont presque des articulations. Ne considérons qu'un seul rail puisque les deux rails se déplacent ensemble.

Fig. 5



Soit MN *(fig. 5)* la position normale et droite du rail; soit ABCDEFG la voie ayant pris la sinuosité polygonale en question, sinuosité se reproduisant pareillement un certain nombre de fois.

Ce contour polygonal est assimilable à des courbes figurées en pointillé sur la figure 4.

Si les rails ont 8 m. de longueur, la longueur PQ = QR est égale à 16 m. Or, 16 m se franchissent en une demi-seconde

avec une vitesse de 115 km à l'heure, vitesse très usuelle. Donc, si le véhicule met une demi-seconde pour osciller en travers sur ses ressorts, le *synchronisme dangereux se produira*. Or, la formule du paragraphe 7 de mon mémoire de novembre montre que cette durée d'oscillation d'une demi-seconde pour une oscillation simple est une durée normale pour certains véhicules à ressorts un peu souples. Donc, je le répète, la *répétition dangereuse est possible dans ce cas*.

Maintenant a flèche ST sera-t-elle trop forte pour passer inaperçue des agents de la voie ? Le tableau du paragraphe 26 ci-dessus va nous donner la réponse.

Avec un rayon de 800 m, on aurait une flèche de 16 mm pour une corde de 10 m et de 64 mm pour une corde de 20 m ; cela donnerait environ 45 mm de flèche avec une corde de 16 m ; je crois qu'il est bien difficile qu'un pareil défaut échappe aux agents de la voie. Mais, si nous supposons des courbes de 1 600 m de rayon, cela donnerait environ 20 mm de flèche pour une corde de 16 m. Ce défaut peut très bien passer inaperçu sur une voie peu surveillée; ce cas correspond à une force centrifuge égale à un dixième environ de la pesanteur à 140 km à l'heure.

Or, nous savons calculer les réactions dues au passage d'une courbe de 1 600 m à une autre courbe inverse de 1 600 m. C'est comme si l'on passait d'un alignement droit à une courbe de 800 m, en ce qui concerne l'amplitude totale de l'oscillation simple qui en résulte, s'il n'y a pas de frottements. Donc, les réactions seront précisément celles qui résultent du tableau du paragraphe 14 ci-dessus. Ces réactions sont déjà fort puissantes quand il n'existe qu'une seule variation de courbure; mais, si elles se répètent avec synchronisme défavorable, il est douteux que le frottement des lames de ressorts puisse suffire à lui seul à amortir des oscillations d'une pareille puissance, comme on va le voir au paragraphe suivant. Le cas qui précède concerne des rails de 8 m à éclisses ancien modèle. Il est évident qu'avec des rails de 20 m avec éclisses cornières portant sur trois traverses assez rapprochées, on obtient une voie résistant bien davantage à cette tendance aux sinuosités. Mais avec ces rails, comme avec les rails courts, il peut encore se produire des sinuosités plus longues, à rayons plus grands, qui peuvent encore être dangereuses par leur répétition. On peut très bien admettre, dans ce cas, qu'il peut se produire des sinuosités

donnant, d'après mes formules, une force centrifuge, répétée d'un vingtième de la pesanteur à 140 km à l'heure ou à un dixième de la pesanteur à 200 km à l'heure. Ces chiffres nous serviront aux paragraphes suivants.

Je signalerai encore la sinuosité des voies aux approches d'un pont en pierre, quand la pile du pont, plus épaisse que l'écartement normal des deux voies, a nécessité une déviation de ces deux voies.

La figure 5 représente des sinuosités sur une voie normalement droite ; en courbe, il en serait de même, et les sinuosités sont alors moins visibles.

§ 31. — Conditions de convergence des oscillations.

Revenons au cas de la figure 5 : il se pose donc ici une question capitale. En cas de synchronisme dangereux, les oscillations du véhicule autour du centre d'oscillations vont-elles aller indéfiniment en augmentant ou resteront-elles limitées à l'amplitude de la première oscillation ?

Je vais montrer qu'il existe deux conditions de convergence, c'est-à-dire deux conditions pour que les oscillations n'aillent pas en augmentant.

1° *Condition de convergence.* — Supposons d'abord que les frottements des ressorts de suspension soient les seuls qui résistent aux oscillations en travers.

Appelons b_1 l'écartement des ressorts d'un même essieu, comme au paragraphe 14, et h_1 la hauteur du centre de gravité de la caisse au-dessus du centre d'oscillations. Pour que les oscillations soient convergentes, il faut que le moment constant de la force centrifuge soit inférieur au moment constant du frottement des ressorts par rapport au centre d'oscillations. Or, le moment de la force centrifuge est $\Phi_1 \times h_1$: le moment du frottement des ressorts est égal à deux $\frac{P_1}{2} f \times \frac{b_1}{2}$ ou, en tout, $P_1 f \frac{b_1}{2}$ (f étant le frottement proportionnel ou « frottement relatif » des ressorts,

On doit donc avoir : $\Phi_1 h_1 < P_1 f \frac{b_1}{2}$,

ou encore : $\frac{\Phi_1}{P_1} < f \frac{b_1}{2h_1}$.

Telle est la première condition de convergence des oscillations.

Faisons une application numérique au cas limité ou $\frac{\Phi_1}{P_1} = \frac{1}{20}$, cas du paragraphe 30 ci-dessus.

On a pris comme donnée. dans ce cas : $h_1 = 1{,}20$ m et $b_1 = 1{,}95$ m.

On a donc, en appliquant la formule ci-dessus :

$$\frac{1}{20} < f \times \frac{1{,}95}{2 \times 1{,}20},$$

ou

$$f > \frac{1}{20} \times \frac{2 \times 1{,}20}{1{,}95},$$

ou

$$f > 0{,}06,$$

pour la vitesse de 140 km à l'heure; pour 200 km à l'heure, il faudrait le double ou $f > 0{,}12$.

J'ai donné dans les *Annales des Mines* (cinquième livraison de 1905) la formule qui permet de calculer f ou « frottement relatif » des ressorts à lames (1). Il est facile d'avoir des ressorts à lames donnant le frottement voulu, comme on peut le voir d'après ma formule des *Annales des Mines;* cependant, il ne faut pas oublier que ce frottement doit être en plus de celui qui est nécessaire pour satisfaire à la formule du § 43 [β] ci-après. Mais je dois ajouter que les frottements des ressorts à lames ne sont pas les seuls qui résistent à l'oscillation en travers, comme je l'ai montré; il y a aussi les frottements des boîtes à graisse sur les plaques de garde; il en résulte qu'il faut en tenir compte dans la formule ci-dessus. D'autre part, il est rare que les sinuosités anormales de la voie soient aussi fortes que je l'ai supposé au § 30; il est donc assez facile, en résumé, de satisfaire à cette condition de convergence des oscillations, et c'est justement ce qui a lieu, en pratique, dans l'immense majorité des cas.

2° *Condition de convergence.* — Il existe une autre condition à remplir pour que les oscillations n'aillent pas en augmentant. Il

(1) Cette formule nouvelle est la suivante :

$$f = 2\varphi(n-1)\frac{c}{l}.$$

f frottement proportionnel des ressorts ou rapport du frottement total du ressort à son effort, à égalité de courses;
φ coefficient de frottement = 0,40 dans ce cas;
c épaisseur des lames de ressort;
l longueur de la maîtresse lame.

faut que le travail du frottement de l'appareil de déplacement latéral soit supérieur au travail Θ obtenu en faisant le produit de la force centrifuge Φ_1 de la caisse par le déplacement total de translation du centre d'oscillation. Appelons T ce travail de frottement de l'appareil de déplacement latéral dans une oscillation simple complète, depuis une position extrême jusqu'à l'autre dans son déplacement latéral complet; appelons d le déplacement latéral de l'appareil à droite ou à gauche de sa position moyenne.

Donc le travail Θ est égal à :

$$2\Phi_1 d,$$

La deuxième condition de convergence des oscillations est donc :

$$T > 2\Phi_1 d.$$

Si j'appelle F le frottement moyen, on peut écrire cette formule :

$$F \times 2d > 2\Phi_1 d,$$

ou encore :

$$F > \Phi_1.$$

S'il s'agit d'un bogie, en appliquant à cette formule les conclusions du § 30 ci-dessus, on trouve ce qui suit : lorsqu'on atteindra 140 km à l'heure comme vitesse normale, le frottement moyen de l'appareil de rappel devra être égal à un vingtième de la charge du bogie au moins; il devra être égal à un dixième de cette charge pour 200 km à l'heure. Il est possible qu'on puisse se contenter de chiffres moindres encore : la pratique et des expériences le montreront.

On pourrait objecter qu'il faudrait tenir compte du déplacement latéral dû au jeu entre les boudins et les rails; cela augmente d'autant le travail de Φ_1; mais, d'autre part, il y a le travail du frottement latéral des bandages sur les rails qui fait largement la compensation, car ce frottement est supérieur à Φ_1.

Telle est la deuxième condition de convergence des oscillations.

Ces deux nouvelles formules de conditions de convergence sont approximatives; elles supposent un cas plus défavorable que celui de la pratique usuelle, c'est celui du synchronisme des deux oscillations considérées; elles montrent comment on peut calculer les frottements de toutes sortes pour empêcher les

oscillations d'augmenter, dans le cas très dangereux des variations anormales répétées des rayons de courbure de la voie.

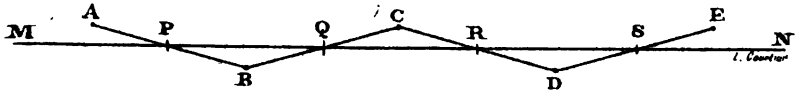
Il convient d'ajouter que la grande longueur des véhicules diminue le danger des oscillations que je viens d'étudier.

§ 32. — Autre genre de sinuosités de la voie.

Il peut arriver encore que les deux rails de la voie présentent une sinuosité comme celle de la figure 6. Dans ce cas, si les rails ont encore 8 m de longueur, la distance PQ = QR = RS est égale à 8 m également.

Ici, le synchronisme peut s'établir avec la durée plus courte

Fig. 6



des oscillations des locomotives sur leurs ressorts, durée qui résulte de la formule du § 7 de mon mémoire de novembre.

Ici, le mouvement qui s'établira sera un mouvement de lacet, parce que la force centrifuge agira en sens inverse aux deux extrémités de la locomotive.

Ce mouvement de lacet ira en augmentant jusqu'à ce que l'amortissement soit obtenu par *les frottements* du déplacement latéral du bogie et par celui des plans inclinés de l'essieu porteur d'arrière s'il en existe un.

§ 33. — Utilité de la puissance et des frottements des appareils de déplacement latéral.

On voit combien sont nombreuses les raisons qui militent en faveur des systèmes de déplacement latéral élastique des essieux avec *frottements suffisants*, pour amortir toutes les nombreuses causes d'oscillations pouvant donner lieu à répétition. C'est un point de vue sur lequel je ne saurais trop insister.

Dans les bogies des machines, ce frottement est dû, généralement, au frottement naturel de l'avant de la machine se déplaçant par rapport au bogie, sur des surfaces graissées. On peut constater, d'après mes formules, que ce frottement est plus fort

qu'il n'est nécessaire, ce qui, du reste, a beaucoup moins d'inconvénient que s'il était trop faible. On peut, par l'emploi de bielles ou de rouleaux, diminuer ce frottement pour lui donner la valeur voulue (voir § 31 [β] et [ε] ci-dessus); mais il ne faut pas perdre de vue que tout bon appareil de déplacement latéral doit donner :

1° Une résistance au déplacement latéral due à des ressorts ou à une composante de la pesanteur et une course latérale suffisants pour éviter dans tous les cas le choc *dur* des boudins sur le rail ;

2° Des frottements suffisants pour empêcher les oscillations de lacet de s'accroître jusqu'au même choc dur, même dans les cas les plus défavorables qui ne se présentent que très rarement (voir § 41 [ι]). Tous ces éléments sont faciles à déterminer d'après mes formules.

Avec des appareils donnant un rappel latéral très doux, on aurait un matériel qui pourrait être très confortable sur de bonnes voies, mais qui ne présenterait pas toujours la résistance voulue contre les déraillements, sur de mauvaises voies et aux très grandes vitesses ; cela revient à dire que les conditions du plus grand confortable ne sont pas toujours les mêmes que les conditions du maximum de sécurité.

De plus, il résulte du § 31 qu'on aurait un résultat meilleur encore en appliquant à ce déplacement latéral un frottement progressif, comme l'a fait M. le commandant Krebs pour la solution d'un autre problème, celui de la suspension verticale des automobiles.

En outre, il est fort probable qu'en réalisant des progrès dans la construction des attelages, on pourra obvier aux défauts des menottes à anneaux, de manière à employer les voitures ordinaires, sans bogies, même avec des vitesses bien supérieures aux vitesses actuelles.

CHAPITRE IX

Vérifications expérimentales.

§ 34. — Expériences de la Compagnie du Nord.

La Compagnie du Nord a entrepris une série d'expériences des plus intéressantes sur les oscillations du matériel avec son wagon d'expériences, basé sur le principe de l'emploi du pendule balistique de M. Sabouret, Ingénieur en chef de l'Ouest.

M. Rossignol a résumé en deux principes les conclusions de ces expériences (1) :

1° — Dans un premier principe, M. Rossignol montre que les oscillations verticales sont à peu près complètement indépendantes de la vitesse ; c'est absolument conforme aux résultats de mes études théoriques des *Annales des Mines* dont je parlerai plus loin.

2° M. Rossignol résume ainsi qu'il suit son deuxième principe :

« Les secousses latérales croissent au contraire très rapidement avec la vitesse, mais on peut déterminer leur importance relative, aux différentes vitesses, avec une approximation suffisante, en ramenant les observations à une vitesse type par l'emploi de coefficients. »

On voit de suite que ce deuxième principe est entièrement d'accord avec toutes les formules de mes deux mémoires des *Ingénieurs Civils* ; dans toutes ces formules, en effet, les actions latérales sont proportionnelles au carré de la vitesse du train.

§ 35. — Expériences de Berlin a Zossen.

Dans les expériences de Berlin à Zossen, dont j'ai déjà parlé, je trouve une nouvelle vérification de mes études, c'est la suivante : au début de ces expériences, la voie, d'un type léger, avait subi des déformations telles qu'on n'a pas pu continuer les

(1) *Note sur l'appareil enregistreur employé sur le réseau du Nord pour la visite rapide des voies*, par M. Rossignol, Ingénieur en chef adjoint de l'entretien. (*Revue générale des Chemins de fer* de décembre 1903.)

expériences au-dessous de 150 km à l'heure à cause de la grandeur des oscillations du matériel. A ce moment, on a noté des dénivellations verticales de 4 cm environ à chaque rail et des déformations horizontales de 4 cm également, à chaque rail.

Cela montre que les véhicules à bogies munis d'un déplacement latéral avec frottements peuvent, parfois, subir d'énormes défauts de la voie sans dérailler; c'est justement ce que j'a montré théoriquement dans tout l'ensemble de mes études.

Il y a là une vérification frappante de mes théories. Mais je me hâte de dire qu'il serait dangereux de répéter souvent des expériences pareilles sur une voie aussi détériorée; en effet, il pourrait se produire des répétitions d'oscillations dont j'ai déjà parlé et des superpositions d'oscillations dont je parlerai plus loin, ce qui entrainerait fatalement un déraillement.

CHAPITRE X

Déraillements provenant des actions latérales des roues sur les rails.

§ 36. — Déraillements provenant des actions latérales.

Bien des personnes se sont demandé depuis longtemps comment le faible obstacle créé par la présence du *boudin*, ou *mentonnet* du bandage, suffit pour empêcher les déraillements, malgré les puissantes actions latérales du matériel sur la voie. Le déraillement est naturellement facilité, quand la roue est déchargée pendant une fraction de durée d'une oscillation; mais à partir de quelle limite pourra-t-il avoir lieu? C'est la question que je vais examiner.

§ 37. — Cas de l'essieu oblique.

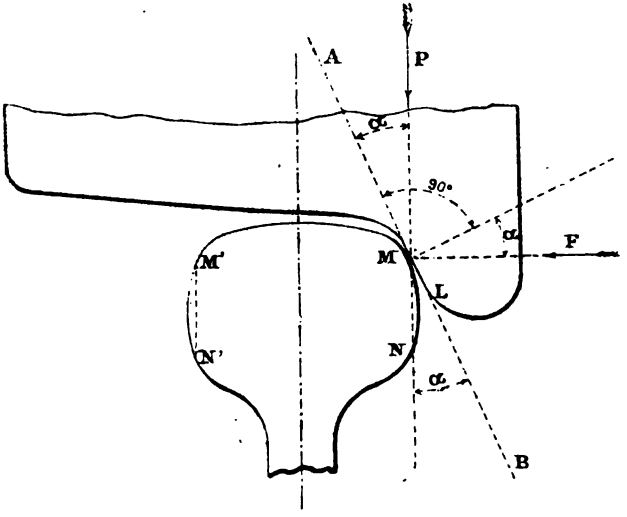
Je vais commencer par le cas où l'essieu est légèrement oblique sur le rail, au lieu de lui être exactement perpendiculaire; en d'autres termes, la roue n'est pas absolument tangente au rail, elle tend à *monter* sur ce rail par suite d'une entrée en courbe, ou d'un mouvement de lacet, etc. Que va-t-il arriver? Le boudin peut-il *monter* sur le rail comme la roue elle-même monterait sur un morceau de fer oublié sur le rail?

En aucune façon pour les grandes vitesses; pour que le mentonnet pût monter brusquement sur le rail, *sans glisser*, il faudrait qu'il montât dans un temps extrêmement court, un ou deux centièmes de seconde, par exemple, comme il est facile de s'en rendre compte; or cette ascension brusque mettrait en jeu une énorme force d'inertie de la roue; les actions qui tendent à faire monter le mentonnet sont incapables de surmonter une pareille inertie.

Donc, en résumé, le mentonnet ne peut pas monter *brusquement*. Mais il peut monter *doucement* sur le rail, en un dixième de seconde, par exemple, tout en glissant un peu; or, pendant cette durée d'un dixième de seconde, le véhicule restera dans le voisinage de l'extrémité d'une oscillation. *Donc le mentonnet pourra monter doucement sur le rail, en glissant un peu, et il aura le temps de le faire pendant qu'une roue est déchargée par une oscillation du véhicule, sans mettre en jeu une grande inertie de la roue.*

Cela posé, précisons le problème : appelons P la charge de la roue, F l'effort horizontal du mentonnet sur le rail et α l'angle de conicité du *mentonnet* ou angle que fait le mentonnet avec le plan de la roue perpendiculaire à l'essieu au point

Fig. 7



de contact M *(fig. 7)*. Cette figure ne représente pas la forme habituelle des rails; je l'ai un peu modifiée pour plus de clarté.

Écrivons la condition de l'équilibre de la roue dans le sens de la ligne AB ; elle est sollicitée :

1° Par sa charge P qui donne P cos α en projection sur AB ;

2° Par la réaction horizontale F ; cette réaction horizontale donne — F sin α en projection sur AB ;

3° Par le frottement *moteur*, qui est égal à la pression normale — F cos α multipliée par le coefficient de frottement f du mentonnet sur le rail, soit donc — F cos $\alpha \times f$.

On a donc, en définitive :

$$P \cos \alpha - F \sin \alpha - F \cos \alpha \times f = 0.$$

Divisons tout par cos α, on a :

$$P - F \operatorname{tg} \alpha - Ff = 0,$$

$$P = F(\operatorname{tg} \alpha + f),$$

$$\frac{F}{P} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha + f}.$$

Cette formule est celle qui a été donnée par M. Pochet (1), avec une légère modification tenant à ce que je ne tiens pas compte du frottement latéral de la jante de la roue sur le rail ; il faut, en effet, que la formule s'applique même si la roue a été très légèrement soulevée pendant une oscillation. Je dois dire que cette formule n'est qu'approximative ; il se produit là des actions de frottement extrêmement complexes, dont la théorie exacte n'a jamais été faite, à ma connaissance. Néanmoins, cette formule est fort utile et exacte en la considérant comme plus défavorable que le cas de la pratique réelle.

En pratique, on a : $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}25$ environ au début ; mais cet angle augmente un peu à mesure que la roue se soulève, si le mentonnet est arrondi.

Dressons le tableau suivant qui donne la valeur de $\frac{F}{P}$ en fonction du coefficient de frottement f du mentonnet sur le rail (Condition du déraillement.)

(1) Voir la *Théorie du mouvement ou courbe*, par M. Pochet, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 1882.

VALEURS de f	VALEURS de $\frac{F}{P}$
0,20	2,22
0,40	1,54
0,60	1,18
0,80	0,95

En pratique, comme le pensait M. Pochet, le coefficient de frottement f peut parfois être très fort ; il peut même atteindre 0,80 quand le rail est grippé par suite des actions latérales qui l'ont entamé ; on voit donc que $\frac{F}{P}$ peut fort bien descendre au chiffre de 0,95, ou 1 environ ; *en d'autres termes, le déraillement peut parfois se produire si l'action latérale est égale à la pression de la roue*, surtout si cette action latérale dure au moins un dixième de seconde, ou assez longtemps pour que la roue ait le temps de se soulever de 1 ou 2 cm, malgré son inertie ; mais, c'est absolument exceptionnel et cela suppose un rail absolument grippé, rongé par les actions latérales ; en général, le chiffre de 0,40 est largement suffisant, ce qui donne pour $\frac{F}{P}$ la valeur 1,54. *Cette conclusion est absolument rassurante*, car le rapport $\frac{F}{P}$ ne peut dépasser la valeur de 1,54 que dans le cas où l'appareil élastique de rappel latéral est insuffisant pour empêcher le choc dur du boudin sur le rail ; et encore même dans ce dernier cas, $\frac{F}{P}$ ne reste considérable que pendant une durée extrêmement courte (voir § 41 ci-après).

§ 38. — Cas de l'essieu normal a la voie.

J'arrive maintenant à un autre cas, c'est celui où l'essieu est normal et la roue parfaitement tangente au rail.

Dans ce cas, le même frottement moteur subsiste toujours, mais il y a un frottement résistant absolument pareil par symétrie ;

donc f disparaît dans la formule du paragraphe précédent qui devient :

$$\frac{F}{P} = \frac{1}{tg\alpha}$$

Cette formule est extrêmement simple; je vais montrer tout l'intérêt qu'elle me paraît avoir. Elle a l'avantage d'être exacte, car ici les actions très complexes des frottements moteurs et résistants, étant symétriques, se compensent.

Si on fait encore $tg\alpha = 0{,}25$, on a alors

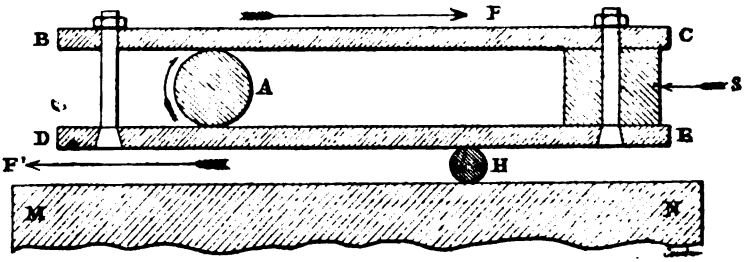
$$\frac{F}{P} = \frac{1}{0{,}25} = 4$$

Donc, si l'essieu est absolument normal au rail, l'effort latéral nécessaire pour faire dérailler sera égal à quatre fois la charge de la roue au lieu de une fois et demie.

Cette conclusion nouvelle me paraît très importante; elle montre, comme je le dirai plus loin, la grande supériorité du matériel à bogie sur le matériel ordinaire.

Mais, avant de faire cette comparaison, je vais rappeler une expérience que j'ai faite il y a une vingtaine d'années et qui met en lumière les curieuses propriétés des frottements moteurs et résistants simultanés. A est un axe de 0,10 m de diamètre (fig. 8),

Fig. 8



tournant dans le sens de la flèche et faisant, par exemple, un tour par seconde avec une puissance irrésistible. BC et DF sont deux barres de fer plates serrées avec des boulons de manière à exercer une pression de 2 000 kg sur l'axe A; MN est une table solide et H un rouleau, destinés à empêcher l'appareil de tourner avec l'axe. Il se produit deux frottements + F et — F qui sont égaux à $\frac{2.000}{5} = 400$ kg chacun si le coefficient de frotte-

ment est d'un cinquième. Si l'arbre ne tourne pas, on constate qu'il faut un énorme effort de 800 kg pour déplacer l'appareil horizontalement. Maintenant faisons tourner l'axe ; on constate que l'appareil reste immobile malgré la rotation de l'arbre A ; cela s'explique car le frottement moteur est égal au frottement résistant.

Maintenant, si l'on pousse l'appareil avec une force S, *on constate que l'appareil se met en marche avec une force S extrêmement petite, de quelques centaines de grammes ;* l'effort peut se faire aisément du bout du doigt. Cela se comprend, car il y a là équilibre entre le frottement moteur et le frottement résistant, et l'on n'a à vaincre que le frottement dû au faible poids de l'appareil et la résistance au roulement du rouleau H.

Si cependant on cherche à pousser l'appareil plus vite que la vitesse qui correspond à la rotation de l'arbre A, on se heurte à une résistance impossible à vaincre à la main et qui est de 800 kg au lieu de quelques centaines de grammes ; cela se comprend de même.

J'ai cru devoir rappeler cette ancienne expérience que j'ai faite pour des recherches d'une autre nature et qui fixe les idées sur le problème qui nous occupe actuellement. En effet, si l'on décompose le contact entre le boudin et le rail par des plans horizontaux très rapprochés, on voit qu'il y a à droite et à gauche des frottements moteurs et résistants, symétriques et égaux, dont les projections verticales se font équilibre comme dans l'expérience ci-dessus.

§ 39. — Application aux divers systèmes d'essieux en usage.

Je rappelle donc les deux formules :

1° Formule (essieu pas normal) $\frac{F}{P} = \frac{1}{tg\alpha + f}$:

2° Formule (essieu normal) $\frac{F}{P} = \frac{1}{tg\alpha}$.

Je vais montrer quelle est celle des deux formules qu'on devra appliquer, pour prévoir le déraillement, avec les divers essieux en usage définis au § 23.

(α) *Plans inclinés.* — Ici l'essieu n'est pas normal à la voie ; c'est la première formule qui s'applique, mais $\frac{F}{P}$ reste limité au

chiffre d'un tiers, par exemple, résultant de la pente du plan incliné et du frottement des surfaces graissées, à moins que le choc latéral ne soit assez fort pour aller jusqu'au bout du déplacement du plan incliné. Pas de danger, car un tiers est bien supérieur à la limite dangereuse qui est égale à 1,54 comme je l'ai montré ci-dessus.

(β) *Déplacement latéral à ressorts.* — C'est le même cas, sauf que la réaction du ressort augmente avec le déplacement, tout en restant limitée.

(γ) *Menottes à anneaux.* — Il y a là une résistance au déplacement latéral qui est très faible au début et augmente assez vite.

Généralement ces menottes sont trop courtes pour assurer un déplacement latéral suffisant, de sorte que $\frac{F}{P}$ peut atteindre, dans les grandes oscillations latérales, un chiffre élevé.

(δ) *Bissel, boites radiales.* — Avec ces systèmes, la position de l'essieu normal au rail n'est assurée qu'à peu près, le plus souvent.

Au point de vue qui nous occupe ici, c'est comme si l'essieu n'était pas normal; c'est donc le plus souvent la première formule qui s'applique, avec la limitation de F due au déplacement latéral.

C'est suffisant au point de vue de la sécurité.

(ε) *Bogies de machines.* — Pour bien concevoir ce qui se passe, supposons que le bogie entre subitement en courbe ou qu'il se trouve oblique dans un mouvement de lacet. Au premier moment du choc latéral, il tend d'abord à placer ses essieux normalement à la voie.

Dans cette première période, c'est la première formule qui s'applique. Mais F est limité par l'effort nécessaire pour redresser le bogie, effort variable suivant le système de bogie. Il est donc important que cet effort de redressement ne soit pas trop fort. M. Nadal a signalé ce fait dans ses mémoires des *Annales des Mines*. Dans la deuxième période, au contraire, les essieux sont normaux à la voie et c'est ma deuxième formule qui s'applique.

Donc les bogies offrent une extrême résistance au déraillement, ce que la pratique a constaté depuis longtemps.

On pourrait objecter que les deux ou trois essieux du bogie ne peuvent pas être absolument normaux en même temps à une

voie en courbe, mais cette objection n'a pas de valeur, car les attaches des ressorts de suspension des bogies ont assez de souplesse pour compenser cette différence extrêmement faible.

On peut m'objecter aussi que la première formule du § 39 étant un peu plus défavorable que le cas de la pratique, l'infériorité du matériel sans bogies est peut-être un peu moins grande que je ne l'ai dit ci-dessus ; mais elle reste très notable néanmoins.

(η) *Bogies des voitures de luxe.* — Ils jouissent des mêmes avantages que les bogies des machines, au point de vue qui m'occupe ici, si toutefois la rotation est facile (voir § 40).

(θ) *Cas du jeu latéral simple.* — Le cas du jeu latéral simple est plus difficile à étudier parce qu'il est difficile d'évaluer F, tandis qu'il est facile de le faire dans les cas qui précèdent ; ce système est insuffisant pour le matériel à grandes vitesses. Ce cas a été étudié par M. Nadal, qui a fait intervenir la flexibilité latérale du rail (1). En réalité il faudrait faire intervenir surtout ici l'élasticité des ressorts de suspension qui amortissent beaucoup, dans ce cas, le choc du boudin sur le rail ; cette action des ressorts de suspension est même d'autant plus considérable que le centre de gravité du poids suspendu est plus élevé ; c'est surtout pour ce motif que les machines à centre de gravité très élevé ont une douceur de marche remarquable. Mais, dans ce cas, il ne faut pas que les ressorts de suspension soient trop souples, comme je l'ai montré dans mes travaux des *Annales des Mines*.

§ 40. — Supériorité du matériel a bogies.

Cette étude m'amène à conclure à la grande supériorité du matériel à bogies, qui offre beaucoup plus de résistance au déraillement que le matériel ordinaire ; aussi se généralise-t-il de plus en plus.

Mais, je le répète, cet avantage n'existe que si l'effort F nécessaire pour faire tourner le bogie, évalué au boudin qui attaque le rail, reste limité à un chiffre faible, sensiblement inférieur à P. Il n'en est pas toujours ainsi.

M. Gustave Richard, notre distingué collègue, a rappelé que les Ingénieurs américains ont constaté qu'il se produit une aug-

(1) Voir les mémoires de M. Nadal dans les *Annales des Mines* et les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1896 et 1897.

mentation de résistance à la traction, dans les courbes, avec certains bogies, à cause de la force centrifuge ou du dévers; dans ce cas, les glissières de rotation du bogie supportent une charge anormale qui donne lieu à un frottement intense avec un assez grand bras de levier et une augmentation de F; on sait que, normalement, ces glissières ne doivent supporter qu'une très petite portion de la charge; il en résulte un grand frottement des boudins sur le rail et un supplément de résistance à la traction assez notable; j'y vois un autre inconvénient plus grave: cette augmentation de F augmente la tendance au déraillement. Il faudra, sans doute, écarter certains systèmes et réaliser quelques progrès faciles pour éviter ce grave inconvénient; il s'agit, par exemple, de munir ces glissières de galets appropriés ou de les bien graisser. Je ne veux pas dire que la rotation doive se faire sans *aucun* frottement; il faut seulement que ce frottement soit assez modéré pour limiter à un chiffre convenable la réaction latérale du boudin sur le rail. Mais, cette réserve faite, la supériorité du matériel à bogie est bien établie. Pour l'avant des machines, partie la plus sujette aux déraillements, l'emploi des bogies s'est rapidement généralisé dans ces dernières années.

§ 41. — Influence de la hauteur du boudin.

La première et la deuxième formule ci-dessus ne contiennent pas *la hauteur* du boudin ou mentonnet; il tombe cependant sous le sens qu'elle a de l'importance.

A quoi sert-elle?

(α) Elle sert, comme l'a montré M. Nadal, à empêcher le déraillement si, par malheur, la valeur de $\frac{F}{P}$ est trop forte, pendant un temps très court, comme un centième de seconde par exemple. Alors la roue, en vertu de son inertie, n'a pas le temps de monter de 2 cm pendant ce temps très court. Cela se produit notamment si l'appareil élastique de rappel a une puissance insuffisante pour éviter le choc dur. Mais alors, malgré la hauteur, du mentonnet le déraillement peut parfois avoir lieu si le choc dur est très fort.

(β) Ce cas se produit encore, même avec le matériel à déplacement latéral ou à bogie, pour parer au *choc dur* dû à la force

vive latérale des roues et des essieux, qui n'est amortie par aucun ressort ; *cette remarque a une grande importance.*

(γ) Cette hauteur sert encore à empêcher le déraillement si l'équilibre vertical dû au contrepoids des roues motrices est mal assuré et si la roue tend *théoriquement* à rester en l'air pendant un temps extrêmement court. Ici, le temps pendant lequel la roue a une tendance à se détacher du rail, dans les cas les plus fâcheux, est bien inférieur à un dixième de seconde, en sorte que la résistance due à l'inertie des roues n'est pas négligeable ; (voir § 19). Il faut remarquer que, à mesure que la roue se soulève, l'angle α augmente et la tendance au déraillement augmente aussi à cause de la forme arrondie du boudin.

§ 42. — Choix de la conicité du mentonnet.

J'appellerai conicité du mentonnet l'angle α de la figure 7, qu'il ne faut pas confondre avec la *conicité du bandage.*

Elle sert, comme on le sait, à diminuer la résistance à la traction du train dans les courbes, en diminuant notablement le chemin parcouru par le frottement du mentonnet sur le rail.

Mais il ne faut pas exagérer cet angle α, comme on le voit d'après les première et deuxième formules ci-dessus.

Il faut cependant qu'il reste largement suffisant pour le passage dans les courbes. De plus, on voit qu'il ne faut pas trop arrondir le mentonnet dans sa partie ML pour que α n'aille pas trop en augmentant de M à L. La première formule du § 39 ci-dessus ne pourrait servir à elle seule à calculer l'angle α le plus avantageux, car elle représente, comme je l'ai dit, un cas un peu plus défavorable que le cas de la pratique réelle. C'est une question à trancher expérimentalement, en tenant compte de ce fait que les expériences faites à faible vitesse, pour déterminer la valeur de α, n'indiquent absolument rien pour les grandes vitesses ; dans ce dernier cas, l'inertie de la roue modifie complètement le problème. Cependant, dans le cas du bogie, ma deuxième formule montre qu'il ne faut pas exagérer α. Quant aux faces latérales MN et M'N' du champignon supérieur du rail, il convient de les faire verticales, comme on l'a recommandé dans un congrès international des chemins de fer.

CHAPITRE XI

Oscillations isolées, oscillations répétées, oscillations superposées.

43. — Rappel des conclusions des autres mémoires de l'auteur.

Je montrerai plus loin que les oscillations sont surtout dangereuses par leur superposition, quand par hasard la coïncidence se produit ; cela m'amène à dire quelques mots des autres études que j'ai faites sur les oscillations.

Ces études concernent les oscillations du matériel dues aux dénivellations verticales de la voie, isolées ou répétées (1).

Voici le résumé de quelques-unes des conclusions des études en question :

(2) Si la dénivellation isolée est assez forte pour que le frottement des lames de ressorts ne puisse l'atténuer que faiblement, la chute de la caisse est de $2h$ et le relèvement de $2h$ aussi, à partir de la position primitive, soit $4h$ d'oscillation totale.

(3) S'il y a plusieurs dénivellations faibles répétées, comme celles qui se produisent aux joints de rails et dans leur voisinage, il peut y avoir augmentation successive de ces oscillations par répétition s'il y a synchronisme entre la durée naturelle des oscillations et le temps du passage d'un rail à l'autre ; j'ai donné la nouvelle formule suivante qui indique la condition pour que les oscillations n'aillent pas dans ce cas en augmentant ; c'est, dans la majorité des cas :

$$h \leqslant 2fa.$$

Dans cette formule, h est la dénivellation périodique en question, a la « flèche statique » ou « flexion statique » des ressorts, et f le frottement des ressorts proportionnellement à leurs efforts. La dénivellation h représente, bien entendu, la dénivellation réellement éprouvée par les roues, en pleine vitesse, et non pas la dénivellation permanente visible sur la voie libre sans aucune charge.

(1) Voir la note de l'auteur présentée par M. Léauté à l'Académie des Sciences, séance du 8 mars 1905. Voir aussi les mémoires de l'auteur dans *les Annales des Mines*, 5e et 8e livraisons de 1905.

Si cette condition est réalisée, l'amplitude maxima des oscillations ne dépasse pas $2h$ (h de chute et h de relèvement au-dessus de la position moyenne).

(γ) Ces résultats concernent les oscillations verticales ou les oscillations de galop des véhicules.

Pour les oscillations de roulis, ces chiffres sont un peu modifiés, suivant les indications de mes mémoires des *Annales des Mines*.

(δ) Je donne aussi, dans ces mémoires, la formule du frottement des lames de ressorts (voir § 31 ci-dessus).

§ 44. — Grandes oscillations dues a des défauts isolés de la voie.

En général, les oscillations isolées ne sont dangereuses que si les défauts de la voie qui les occasionnent sont considérables, ce qui ne peut guère exister avec les voies bien entretenues; nous allons nous en rendre compte.

(α) Prenons d'abord le cas de l'oscillation à l'entrée en courbe et à la sortie, sans courbe de raccordement. Revenons au tableau ci-dessus du § 14 (cas du train entrant à 140 km à l'heure dans une courbe de 800 mètres de rayon). Considérons le cas du demi-dévers, qui est celui de la pratique; le tableau montre que le danger n'existe pas. En effet, considérons d'abord la roue la plus chargée (côté du dehors de la courbe). Le tableau donne à l'entrée en courbe :

$$Q_0 = 0{,}82P \quad \text{au lieu de} \quad 0{,}50P;$$
$$S_0 = 0{,}25P.$$

En appliquant la première formule du déraillement du § 38 ci-dessus, on a ici :

$$\frac{F}{P} = \frac{0{,}25P}{0{,}82P} = 0{,}30.$$

Or, nous avons vu (tableau du § 37), que le déraillement ne peut se produire qu'avec $\frac{F}{P} = 0{,}95$, dans le cas limite où le coefficient de frottement f serait égal à 0,80; donc le déraillement n'aura pas lieu, car 0,30 est plus petit que 0,95.

Considérons la roue de droite (côté du dedans de la courbe): le tableau du § 14 donne, pour l'entrée en courbe :

$$R_0 = 0{,}19P \quad \text{au lieu de sa valeur normale} \quad 0{,}50P.$$

La roue ne quittera pas le rail; il n'y a donc pas de danger non plus de ce côté.

En résumé, dans le cas actuel, il n'y a pas de danger, à moins qu'il n'y ait superposition avec une autre cause d'oscillations, cas que nous examinerons plus loin.

(β) Il en est de même dans le cas d'une variation isolée de rayon de courbure donnant la même valeur de la force centrifuge que dans le cas qui précède, ou un cinquième environ de la pesanteur.

(γ) Nous avons montré, § 11 et suivants, que le choc du boudin sur le rail à l'entrée en courbe, pour les grandes vitesses et les grands rayons, ne donne pas des effets dangereux si le matériel a un bon système d'élasticité latérale.

(ε) Examinons à présent l'oscillation isolée due à une forte dénivellation verticale isolée de la voie (voir § 43, [α].

J'ai dit que si h est la profondeur de la dénivellation, la chute de la caisse est égale à $2h$, sur lesquels h est la chute elle-même, et h donne un supplément de compression des ressorts. Supposons que les ressorts aient 5 cm de flexion statique (flexion totale sous la charge statique); alors, si la grande dénivellation est de 1 cm, chiffre considérable, la variation de compression du ressort sera d'un cinquième. Avec 2 cm de profondeur de dénivellation, *ce qui est énorme*, on aurait une variation de deux cinquièmes de la compression du ressort et le danger n'existerait pas encore.

Avec les véhicules à ressorts plus souples, le danger serait bien moindre encore.

(ε) Il y a encore un cas d'oscillation isolée très facile à étudier, c'est celui qui résulte d'une variation brusque du profil de la voie (voir § 9 ci-dessus).

En résumé, comme je l'ai dit au début de ce paragraphe, les oscillations dues à des défauts isolés de la voie ne sont pas dangereuses, à moins que ces défauts ne soient énormes, ce qui ne se produit pas avec les voies bien entretenues.

§ 45. — Danger de la répétition des oscillations isolées.

(α) Les oscillations dues à l'entrée en courbe et à la sortie peuvent donner lieu à répétition si une courbe du tracé normal de la voie succède à une autre courbe du tracé, sans alignement droit intermédiaire. Ce cas n'est pas conforme aux règlements, mais il convient de l'examiner néanmoins. On a vu que cette disposition de la voie peut déterminer, dans certains cas de synchronisme, des oscillations considérables et dangereuses. Mes formules et tracés graphiques permettent d'évaluer l'amplitude de cette oscillation.

(β) J'ai montré, § 29 à 35, le cas des oscillations dues aux variations anormales et répétées des rayons de courbure de la voie. Nous avons vu que les frottements suffisent, *en général*, pour empêcher ces oscillations d'atteindre une amplitude dangereuse, mais que, cependant, elles peuvent occasionner un danger réel si ces variations sont trop fortes. Mes formules et tracés graphiques permettent encore d'évaluer l'amplitude de ces oscillations successives.

(γ) J'arrive au cas des oscillations dues aux dénivellations périodiques dues aux joints des rails (voir § 43 [β] ci-dessus).

J'ai montré, dans mes mémoires des *Annales des Mines*, que ces oscillations ne sont pas dangereuses, à moins qu'elles ne soient énormes, ce qui ne doit pas avoir lieu avec une voie bien entretenue.

J'ai donné, § 43, la formule qui permet de voir dans chaque cas si les frottements des lames de ressorts suffisent pour amortir convenablement ces oscillations répétées.

En résumé, les oscillations dues à des causes répétées sont plus dangereuses que les oscillations isolées, parce que le danger peut se produire dans certains cas avec des défauts de la voie peu accentués qui peuvent échapper à la surveillance. Cependant, en général, il existe dans les lames de ressorts et autres parties du matériel des frottements suffisants pour amortir convenablement les oscillations ; on ne peut pas dire cependant que tous les véhicules ont cette propriété ; mes formules et tracés graphiques permettent de s'en rendre compte.

§ 46. — Danger de la superposition des oscillations isolées ou répétées.

La superposition des oscillations isolées peut être très grave. Il est facile de s'en assurer en supposant que la fatalité produise la superposition des oscillations (α) et (ε) du § 44 par exemple; dans ce cas, le rapport $\frac{F}{P}$, au lieu d'être égal à 0,30 comme dans le paragraphe précédent, peut monter à la valeur 1 si la pression sur le rail tombe à 0,30P, en vertu d'une oscillation longitudinale due à une forte dénivellation de la voie. Le déraillement peut être à redouter d'après les § 36 à 43, s'il n'y a pas de bogies. La superposition des oscillations (ζ) (γ) (ε) du § 44 ci-dessus peut aussi se produire. Ce qui est plus grave encore, c'est la superposition des oscillations répétées du § 44 ci-dessus, soit entre elles, soit avec les oscillations dues à des causes isolées.

En effet, on a vu que les frottements divers, comme ceux des lames de ressorts et autres, suffisent en général pour amortir les diverses oscillations répétées *prises isolément*. Mais il est hors de doute que ces frottements ne sont pas toujours suffisants pour amortir à la fois plusieurs genres réunis d'oscillations répétées. *Cette superposition se produit très rarement, fort heureusement, mais sa possibilité explique très bien des déraillements qui se produisent parfois avec des voies bien entretenues.* C'est une fatalité, un cas de force majeure, dont il serait injuste de rendre les ingénieurs responsables. Les défauts horizontaux et verticaux de la voie dont il est question tiennent à sa nature même; il pourra toujours en exister, même dans les services les mieux surveillés.

Les perfectionnements de toutes sortes tendent à diminuer le nombre de ces accidents, mais non à les supprimer, car l'augmentation des vitesses augmentera les causes du danger au fur et à mesure qu'on réalisera des progrès pour chercher à le diminuer.

§ 47. — Superposition avec les autres oscillations restant a étudier.

J'ai étudié, d'autre part, les oscillations dues *à la répétition périodique* des perturbations dues aux pièces oscillantes et tour-

nantes des locomotives, à la conicité des bandages, etc. (1). Quand j'aurai publié le détail de ces recherches, j'étudierai le cas de la superposition de ces oscillations avec toutes celles qui précèdent. Je montrerai, par des applications numériques, que, avec les vitesses actuelles, avec une bonne voie et un bon matériel, l'amortissement des oscillations répétées et superposées est parfaitement assuré, sauf dans des cas très rares, et qu'il sera facile d'augmenter de beaucoup et progressivement les vitesses avec des modifications de détail de la voie et du matériel. La vitesse est plutôt limitée par l'insuffisance de puissance de la locomotive que par la sécurité, comme l'avait déjà fait remarquer, avec sa haute autorité, M. du Bousquet, notre ancien président.

CHAPITRE XII

Les automobiles et les virages.

§ 48. Applications aux automobiles des principes de mes deux mémoires.

Les principes de mes deux mémoires des *Ingénieurs civils* s'appliquent aux automobiles, avec, toutefois, une modification tenant à ce que dans les autos le boudin n'existe pas. Ici, il est remplacé par le frottement latéral de la roue sur la route, frottement qui a une limite au delà de laquelle se produit le *dérapage*. Je désignerai par ce terme tout glissement latéral des roues d'avant ou d'arrière, quelle qu'en soit la cause. Il en résulte que mes formules s'appliquent aux automobiles jusqu'à la limite où se produit le dérapage.

En premier lieu mes formules d'entrée en courbe et de sortie trouvent ici leur application ; il y a cependant ici de très courtes courbes de raccordement tenant à ce que le chauffeur fait en général ses virages progressivement. En second lieu ma théorie relative aux variations de rayons de courbure s'applique aussi aux autos ; par exemple, quand un chauffeur veut dépasser une voiture, en marchant à grande vitesse, il décrit trois courbes

(1) Voir dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. Note de M. Georges Marié, présentée par M. Léauté, sur les oscillations des locomotives sous l'action de diverses forces perturbatrices (29 mai 1905).

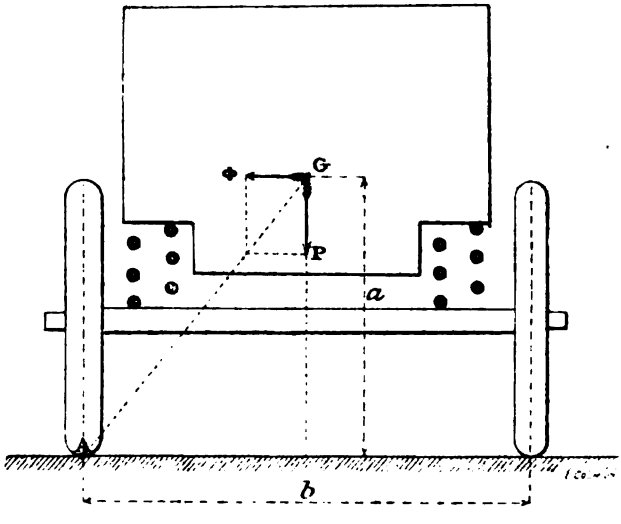
successives formant une sorte d'S; il peut y avoir ici encore synchronisme et augmentation des oscillations par répétition, avec amortissement partiel par les frottements des lames de ressorts, etc... On voit donc la grande analogie avec mes problèmes relatifs aux chemins de fer. Je vais examiner de plus près les différences introduites par la question du dérapage.

§ 49. — Condition de stabilité de l'automobile.

Il est hors de doute que les efforts latéraux peuvent être énormes, soit parce que le chauffeur fait un virage à une vitesse bien supérieure à celle qui ferait verser un wagon de chemin de fer sur une voie, soit en vertu des virages en S.

Mais avec les automobiles bien établies, le chauffeur est généralement sauvé *par le dérapage*. Voyons dans quelles conditions cela se produira; c'est bien simple. Soit a la hauteur du centre

Fig. 9



de gravité de l'automobile au-dessus du sol (fig. 9) et b la largeur de la voie ou écartement des roues d'un même essieu, P le poids total et Φ la force centrifuge seule ou augmentée de l'inertie de rotation, si la variation de force centrifuge est rapide, suivant les calculs de mon mémoire de novembre. Il est clair

que le véhicule *tend à verser* si la résultante de Φ et de P passe en dehors du point de contact A de la roue avec le sol ou si

$$\frac{P}{\Phi} > \frac{a}{\frac{b}{2}} \text{ ou } \frac{P}{\Phi} > \frac{2a}{b}.$$

Mais, d'autre part, le véhicule glissera latéralement, *dérapera*, si Φ est supérieur au frottement latéral ou P*f* (*f* étant le coefficient de frottement latéral des roues sur le sol); donc on aura la condition suivante :

$$\frac{P}{Pf} > \frac{2a}{b},$$

pour que l'automobile dérape au lieu de verser,

ou $$2af < b$$

ou enfin $$a < \frac{b}{2f}.$$

En pratique, suivant M. Arnoux, *f* peut atteindre le chiffre maximum de 0,65 environ ; on aura donc :

$$a < \frac{b}{2 \times 0{,}65} \text{ ou } a < 0{,}77 \times b.$$

Donc la hauteur du centre de gravité au-dessus du sol ne doit pas dépasser le chiffre 77 0/0 de la largeur de la voie. Cela fait une hauteur de 1,08 m pour une voie de 1,40 m et 0,92 m avec une voie de 1,20 m. Si cette condition est remplie, la voiture dérapera au lieu de verser quand le chauffeur vire sans prudence. Je me hâte de dire que cette condition est généralement remplie, mais pas toujours.

Cependant il serait à désirer qu'elle fût remplie avec un coefficient de sécurité suffisant, car *f* peut momentanément surpasser le chiffre de 0,66 en cas d'obstacle latéral même peu élevé comme un rail de tramway, etc. Il est probable qu'on continuera à diminuer la hauteur du centre de gravité et à augmenter la largeur de la voie pour obtenir ce résultat.

Ce dérapage est ce que j'appellerai le *dérapage protecteur des virages*; c'est la soupape de sûreté des virages imprudents. Je pourrais démontrer que cette condition n'est pas modifiée en cas

de dévers de la route ; mais le calcul serait un peu long, ce qui m'empêche de le donner ici. Mais, cependant, le virage avec dévers défavorable est extrêmement dangereux pour d'autres motifs.

§ 50. — Invisibilité des dérapages protecteurs.

La condition de stabilité précédente résulte d'un calcul banal: on peut lui faire l'objection suivante : Si l'on regarde la trace des pneumatiques sur la route, après un virage imprudent, on ne voit pas toujours une trace de glissement latéral ; la largeur de la trace n'est guère augmentée ; à peine voit-on de petits graviers paraissant avoir été déplacés ; donc la théorie paraît se tromper.

Cette objection spécieuse n'est pas fondée. Je vais montrer en effet, que le dérapage protecteur peut être efficace sans que sa trace sur la route soit visible, ou à peine visible, fait qui n'a jamais été signalé, que je sache.

Supposons, par exemple, que Φ *soit le double* de la force centrifuge qui produit le dérapage, dans un virage *très imprudent.*

Alors on a :

$$\Phi = 2 \times 0{,}65 \text{ P}.$$

Décomposons par la pensée Φ en deux parties ; une première moitié $\frac{\Phi}{2} = 0{,}65$ P, qui est équilibrée par la réaction du frottement, plus une autre moitié $\frac{\Phi}{2} = 0{,}65$ P, qui est équilibrée *par la force d'inertie du véhicule* dans son déplacement latéral.

Supposons que l'automobile vire à 20 m de vitesse par seconde ou 72 km à l'heure. Pendant une seconde la force 0,65 P agit sur la masse $\frac{\text{P}}{g}$ et lui imprime un mouvement uniformément accéléré avec une accélération $\gamma = 0{,}65 \times g = 0{,}65 \times 9{,}81 = 6{,}4$ environ.

Au bout de 1 seconde, le chemin latéral parcouru sera :

$$e = \frac{1}{2}\gamma t^2 = \frac{1}{2} \times 6{,}4 \times 1 = 3{,}20 \text{ m}.$$

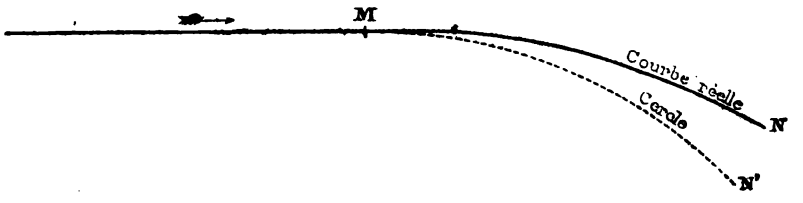
Donc, pendant que l'automobile parcourt 20 m en longueur, elle sera déviée latéralement de 3,20 m; cela fait $\frac{3{,}20\text{ m}}{20} = 16\,0/0$ de déviation.

Considérons à présent *la trace* laissée par la roue sur la route. Supposons que le pneumatique repose sur la route sur une longueur de 5 cm environ; la longueur de la trace dans le virage, ne sera augmentée que de 16 0/0, de 5 cm ou 8 mm seulement. Ce sera moins encore si le bandage, bien gonflé, repose sur moins de 5 cm.

Donc la trace du dérapage protecteur peut être très peu visible et cependant cette action protectrice est très efficace ; elle a même je le répète, une importance capitale.

Cependant, bien que *la trace* du dérapage protecteur soit quelquefois presque invisible, il a pour conséquence de faire dévier

Fig. 10



le véhicule suivant une courbe M N (*fig.* 10) notablement différente du cercle M N' qui résulterait du virage obtenu en maintenant la direction fixe.

Cette déviation peut occasionner un accident si elle est assez grande, parce que la roue vient butter sur la bordure du trottoir ou sur le bas côté gazonné de la route ; cela montre que l'excès du dérapage est très dangereux, ce qui a motivé l'invention des antidérapants.

Il va de soi qu'avec des virages très brutaux la trace du dérapage sur la route devient très visible.

§ 51. — Condition de stabilité de la suspension

Dans mon mémoire d'août 1905 des *Annales des Mines*, j'ai déterminé la limite de flexibilité des ressorts d'un véhicule qu'il

ne faut pas dépasser pour que la suspension soit suffisamment stable.

Le lecteur se reportera à ce mémoire pour l'étude de cette question qui est importante pour les automobiles à centre de gravité élevé comme les omnibus à impériale par exemple.

CHAPITRE XIII.

Conclusions générales.

§ 52. — Nécessité des grands coefficients de sécurité

Ce qu'on a vu ci-dessus sur l'action redoutable des répétitions et des superpositions d'oscillations montre la nécessité de diminuer les causes d'oscillations isolées ou de les amortir isolément avec un *excès* de sécurité ; aussi certaines conclusions qui paraîtraient peut-être exagérées ne le sont pas en envisageant l'éventualité de ces superpositions, et en se rappelant que j'étudie les précautions à prendre pour les vitesses de 120 à 140 km. et au delà, et même de 200 km et au delà avec la traction électrique. En d'autres termes, il ne suffit pas que les frottements soient juste suffisants pour amortir isolément chaque genre d'oscillations; il faut en fixer la valeur avec un coefficient de sécurité suffisant, dans chaque cas, pour prévoir la *répétition* et la *superposition* des oscillations.

§ 53. — Conclusions simultanées.

Le principe de toutes mes recherches consiste à étudier simultanément la voie et le matériel ; il n'y a pas un *problème de la voie* et un *problème du matériel* séparés; il n'y a qu'un seul problème c'est celui *du chemin de fer* ; mes formules contiennent en même temps les éléments de la voie et ceux du matériel. Il en résulte que je donnerai simultanément, dans chaque paragraphe, mes conclusions pour la voie et le matériel. Cela posé, voici mes conclusions classées en suivant le classement des causes qui les motivent.

§ 54. — Oscillations d'entrée en courbe et de sortie.

(α) *Conclusion d'ensemble.* — Ces conclusions sont données par les formules mêmes de mon mémoire de novembre et par le tableau du paragraphe 14 ci-dessus.

(β) *Influence de la vitesse.* — Les effets sont proportionnels au carré de la vitesse, comme le montrent les formules.

(γ) *Conclusions pour la voie.* — On doit employer des raccordements progressifs courts, si l'on ne peut adopter les raccordements paraboliques longs ; ou bien on emploiera des dévers appropriés, comme ceux que j'ai indiqués.

L'emploi simultané des raccordements courts et des dévers appropriés est facile, ne coûte rien et est particulièrement à recommander.

Il faut augmenter le plus possible la résistance des voies en travers, surtout aux points où des efforts latéraux considérables sont signalés par la théorie.

(δ) *Conclusions pour le matériel.* — Il doit présenter des frottements suffisants en travers. L'appareil élastique de rappel doit présenter une résistance suffisante pour résister au maximum de l'effort latéral ; (voir le tableau du paragraphe 14). Les ressorts de suspension ne doivent pas avoir une flexibilité trop forte dans les cas très rares où le centre de gravité du poids suspendu est très élevé. (Voir mes deux mémoires précités des *Annales des Mines.*)

§ 55 — Choc du boudin a l'entrée en courbe et a la sortie

(α) *Conclusions d'ensemble.* — Elles sont données dans mon mémoire de novembre et dans le paragraphe 11 ci-dessus.

(β) *Influence de la vitesse.* — Ces effets sont proportionnels au carré de la vitesse du train ; cependant ils sont moins graves avec de grandes vitesses et de grands rayons qu'avec de faibles vitesses et de petits rayons comme on l'a vu paragraphe 13 ci-dessus.

(γ) *Conclusions pour la voie.* — Ces effets nécessitent une grande résistance horizontale de la voie en ces points spéciaux.

(δ) *Conclusions pour le matériel.* — Le matériel doit avoir un bon système d'élasticité latérale ayant une résistance et une course latérale suffisantes pour satisfaire à la formule du paragraphe 11 ci-dessus.

Il n'est pas certain que le système du ressort unique à bande initiale soit le meilleur. Peut-être vaudrait-il mieux employer plusieurs ressorts à lames superposés donnant une fléxibilité variable ; on les munirait de frottements suffisants.

§ 56. — Oscillations dues aux variations anormales et répétées des rayons de courbure de la voie.

(α) *Conclusions d'ensemble.* — (Voir § 31 ci-dessus). — Soit Φ_1, la force centrifuge de la caisse soumise à répétition, due à ces variations anormales et répétées des rayons de courbure. On a vu que les conditions de convergence des oscillations sont les suivantes :

1° — Le moment des frottements des ressorts de suspension et autres par rapport au centre d'oscillation doit être supérieur au moment de Φ_1.

2° — La valeur absolue des frottements de l'appareil élastique de rappel doit être supérieure à Φ_1. (Voir le paragraphe 31 pour les chiffres pratiques.)

(β) *Influence de la vitesse.* — Φ_1 est proportionnel au carré de la vitesse.

(γ) *Conclusions pour la voie.* — C'est le principal argument qui milite en faveur de l'emploi permanent des wagons d'essais comme celui du Nord.

(δ) *Conclusions pour le matériel.* — Il faut le construire pour que les deux conditions ci-dessus soient remplies. Mais il ne faut pas oublier que les frottements doivent être suffisants pour faire face à toutes les causes répétées d'oscillations réunies.

§ 57. — Déraillements par ascension du mentonnet sur le rail

(α) *Conclusions d'ensemble.* — (Voir les formules du paragraphe 36 à 43).

(β) *Influence de la vitesse.* — Ces déraillements dépendent des actions latérales qui croissent comme le carré de la vitesse.

(γ) *Conclusions pour la voie.* — Il est bon de limiter les faces latérales du champignon supérieur par des plans verticaux comme cela a été recommandé dans un des congrès internationaux des chemins de fer.

(δ) *Conclusions pour le matériel.* — Renoncer au matériel à jeu simple ; la suspension avec menottes à anneaux, suffisante pour les vitesses actuelles, sera abandonnée ou combinée avec des attelages perfectionnés, quand on augmentera notablement les vitesses ; les systèmes de déplacement latéral avec plans inclinés ou à ressorts valent mieux ; l'emploi des bogies, avec les précautions que j'ai indiquées est encore bien préférable, surtout pour les très grandes vitesses. Il faudra déterminer par des expériences la conicité du mentonnet à adopter pour les très grandes vitesses et les courbes de grands rayons.

§ 58. — Nécessité de surveiller la voie avec des wagons d'expériences

Les défauts horizontaux et verticaux de la voie pouvant passer inaperçus, l'usage des très grandes vitesses rendra nécessaire comme on le fait à la Compagnie du Nord, la surveillance de la voie en service avec des wagons d'expériences comme ceux dont j'ai parlé.

On peut faire à ce système l'objection suivante : Si le wagon d'expérience ne marche pas à la vitesse critique il ne signalera pas le danger des dénivellations répétées. C'est exact ; il faudrait alors employer plusieurs wagons ayant des ressorts de flexibilités différentes. Mais, en attendant, l'emploi d'un wagon unique est déjà excellent.

§ 59 — Nécessité de mesurer en service l'action nuisible du matériel sur la voie.

Réciproquement il serait très utile de mesurer l'action destructive *lente* du matériel, de certaines locomotives notamment, sur la voie. Mais jusqu'à présent on ne sait mesurer ces effets que quand ils ont atteint déjà une certaine importance; il est alors difficile de savoir à quels véhicules sont dus ces effets. C'est une question à étudier.

Cependant, dès à présent il y aurait grand avantage à reproduire souvent les expériences de notre distingué collègue M. Coüard avec divers modèles de machines et aux très grandes vitesses.

§ 60. — Conclusions finales.

Je résumerai ainsi qu'il suit mes conclusions générales :

1° — *Il faut diminuer le plus possible les oscillations en agissant sur les causes qui les produisent* ;

2° — *Il faut donner au matériel de la souplesse dans tous les sens, avec frottements partout suffisants, pour amortir rapidement les oscillations que l'on ne peut éviter.*

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 622

Chapitre I. — Application aux chemins de fer des calculs relatifs à l'entrée en courbe et à la sortie 623

Chapitre II. — Remarques sur divers problèmes du premier mémoire. 625

Chapitre III. — Choc du boudin des roues à l'entrée en courbe et à la sortie. . 633

Chapitre IV. — Applications pratiques des formules 638

Chapitre V. — Application de la théorie du gyroscope aux problèmes considérés. 640

Chapitre VI. — Systèmes divers permettant le passage dans les courbes et donnant l'élasticité latérale du matériel 644

Chapitre VII. — Oscillation due à une variation brusque et anormale du rayon de courbure de la voie 648

Chapitre VIII. — Répétition des oscillations dues aux variations brusques et anormales des rayons de courbure de la voie. 652

Chapitre IX. — Vérifications expérimentales. 659

Chapitre X. — Déraillement provenant des actions latérales des roues sur les rails. 660

Chapitre XI. — Oscillations isolées ; oscillations répétées ; oscillations superposées. 670

Chapitre XII. — Les automobiles et les virages 675

Chapitre XIII. — Conclusions générales 680

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DES TRAINS DE CHEMINS DE FER

PAR LE SYSTÈME L'HOEST-PIEPER

Par M. L'Hoest.

Parmi les améliorations que les Compagnies de Chemins de Fer ont apportées au confort des voitures, il en est peu que les voyageurs apprécient autant que celles qui touchent à l'éclairage.

L'électricité, qui a déjà résolu tant de problèmes de l'exploitation des voies ferrées, est dans la pensée d'un grand nombre de spécialistes, le moyen qui tôt ou tard doit fournir la solution définitive de la question de l'éclairage des trains.

La propreté et la fixité de la lumière électrique, la facilité et la promptitude des manœuvres d'allumage et d'extinction, l'affranchissement de ces soins qu'il faut donner chaque jour aux lampes à huile ou à gaz, aussi bien que la sécurité au point de vue des risques d'incendie, sont des avantages particulièrement précieux dans cette application.

Néanmoins, il faut en convenir, l'éclairage électrique des trains est encore peu répandu ; il semble même qu'en France, un certain doute dans le succès final des recherches entreprises a fait diriger les efforts vers l'amélioration d'autres procédés, susceptibles de fournir des résultats plus immédiats.

Cela tient, incontestablement, à la difficulté du problème : le nombre et la diversité des systèmes expérimentés en sont d'ailleurs la preuve.

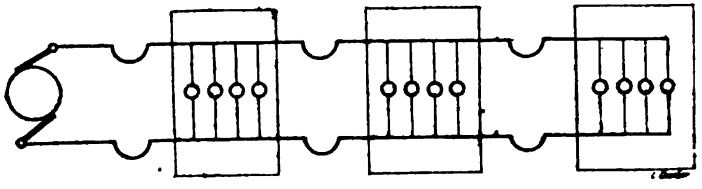
A première vue, on n'aperçoit pas ce qui s'oppose à l'application à l'éclairage d'un train du procédé si simple de la distribution en dérivation : une petite usine, installée sur la locomotive, fournirait l'énergie sous potentiel constant à toutes les voitures reliées à la source par deux câbles distributeurs *(Fig. 1)*.

Malheureusement le service d'une telle usine comporte des mises en route, des réglages, et il faudrait encore en charger le mécanicien, dont les devoirs sont déjà si multiples et si graves.

Mais il y a, à un pareil système, d'autres objections plus im-

portantes. Avant la mise en tête, au cours des manœuvres, lors des changements de machine, le train ou une partie du train, sans liaison avec la locomotive, serait sans lumière. Et alors même que la machine serait attelée, l'éclairage resterait à la merci

Fig. 1



d'un mauvais contact des liaisons, d'une avarie au moteur, à la dynamo, d'une maladresse dans la conduite.

C'est assez dire qu'un tel système n'est pas pratique et ne saurait répondre aux exigences actuelles.

On pourrait atténuer ces inconvénients en plaçant l'usine dans le fourgon; on éviterait ainsi les conséquences du dételage fréquent de la locomotive, mais on ne parerait pas à ceux qui résultent des remaniements du train; encore faudrait-il alors installer un système de production complet, c'est-à-dire indépendant de la chaudière de la locomotive. Ce serait payer bien cher une solution nécessairement incomplète.

Une condition essentielle à remplir dans nos services est le maintien de l'éclairage dans toutes les parties des trains, en stationnement comme en marche, que le train soit entier ou fractionné.

Un moyen d'y satisfaire, assez répandu et bien efficace, consiste à munir chaque voiture, disons chaque élément indivisible du train, d'une batterie d'accumulateurs que l'on recharge périodiquement dans des installations fixes. Le procédé est sûr, mais il est fort coûteux, non pas seulement parce qu'il comporte l'intermédiaire dispendieux de l'accumulateur, mais surtout parce qu'il nécessite des manœuvres importantes, qu'il entraine une immobilisation de matériel roulant et qu'il exige des garages affectés à la recharge des éléments.

Les belles installations que la Compagnie du Nord a réalisées pour l'éclairage électrique de ses trains rapides peuvent être citées comme un modèle du genre. Remarquons-le en passant, cette application du système a été d'autant plus heureuse

qu'elle n'a entraîné aucune nouvelle dépense pour l'établissement de garages ni l'exécution de manœuvres, les soins spéciaux que la Compagnie fait donner pour l'entretien de ce matériel des trains rapides ayant nécessité déjà ces sacrifices.

La dépense serait moindre, semble-t-il, si les batteries étaient renouvelées aux quais d'embarquement mêmes, ainsi qu'on procède pour le renouvellement des bouillottes. Dans certains cas, on a trouvé le moyen avantageux ; l'ennui est la manipulation des batteries, qui expose à des épanchements d'acide sur les trottoirs, nuit à la conservation des accumulateurs et accroît l'encombrement aux abords des trains. D'ailleurs la recharge d'une batterie d'accumulateurs est une opération longue et délicate, qui ne peut être comparée au réchauffage d'une bouillotte ; l'atelier à y affecter, pour être moins vaste que le garage de rechargement, est néanmoins important et doit être établi dans le voisinage des quais d'embarquement, où le terrain est généralement rare et de grande valeur.

Ces considérations ont suggéré l'idée d'installer, à bord des trains, des appareils générateurs restituant aux batteries l'énergie qu'elles fournissent à l'éclairage ; souvent ces appareils alimentent directement l'éclairage pendant tout le temps où le concours des batteries n'est pas indispensable.

Les systèmes répondant à ce programme sont nombreux et ont fait l'objet d'applications importantes à l'étranger. Dans les uns, que nous appellerons *autonomes*, chaque voiture possède sa petite usine ambulante dont l'énergie mécanique est toujours fournie par un essieu du véhicule. Dans les autres, l'usine est unique et installée soit dans un fourgon, soit sur la locomotive, cette seconde disposition permettant l'emploi d'un moteur alimenté par la chaudière de la machine. Ces derniers systèmes peuvent être qualifiés *collectifs*.

En principe les systèmes autonomes résolvent le problème dans toute sa rigueur. On leur reproche cependant la complication de leur mécanisme, dont le jeu est nécessairement automatique et doit s'accomplir en dehors de toute surveillance.

Le mouvement étant transmis à la dynamo par l'essieu, examinons quelles sont les manœuvres courantes à demander à des organes automatiques.

1° Aussi longtemps que la dynamo est immobile, ou encore lorsque la vitesse ne lui fait pas développer une force électro-

motrice au moins égale à celle de la batterie, un interrupteur automatique doit isoler la dynamo des accumulateurs.

Lorsque la tension convenable est obtenue, le même appareil opère la connexion. Ces interrupteurs sont généralement des appareils fonctionnant par l'action d'un centrifuge ou celle d'un électro-aimant excité par la dynamo. En principe ces derniers doivent être préférés, car ils refusent la conjonction si la dynamo, bien que tournant, n'est pas excitée.

2° Le courant d'excitation de la dynamo est le plus souvent fourni par la batterie ; il faut aussi qu'un interrupteur automatique le supprime pendant les stationnements, si l'on ne veut voir s'épuiser les batteries dans les garages prolongés.

3° L'instant où la dynamo est connectée à la batterie correspond à une vitesse minimum. Le mouvement s'accélérant, la tension et le courant prendraient une valeur dangereuse pour l'équipement, si on n'y parait par des combinaisons d'enroulements différentiels, par un moteur absorbant l'excès de tension, par un glissement de courroie limitant la vitesse transmise ou par d'autres artifices équivalents.

4° Si, après un arrêt, le véhicule marche en sens opposé du sens primitif, le courant changerait de sens aussi, si un dispositif automatique ne renversait soit les prises de courant, soit les polarités de l'inducteur.

5° Ce n'est pas tout. La durée de la charge, c'est-à-dire l'énergie emmagasinée, résulte du service journalier des voitures : pour un même service, c'est en quelque sorte une constante. La durée de l'éclairage, c'est-à-dire la dépense, est en corrélation avec la saison et les incidents de route : c'est une variable.

Si l'on veut sortir de l'alternative de charger à l'excès, ce qui est préjudiciable à la conservation des accumulateurs, ou de ne pas assez charger, ce qui nuit à la fois à l'éclairage et aux accumulateurs, il faut adopter un limiteur de charge, qui, lorsque le voltage maximum de la batterie est obtenu, rompt automatiquement la connexion dynamo-batterie.

Certains systèmes sont dépourvus de cet organe. Ils obligent à régler à la main l'intensité du courant de charge selon la saison et la nature du service. Ce réglage est assez malaisé à faire et doit souvent être modifié. Les agents préposés à l'entretien ont une tendance à forcer le courant pour éviter l'insuffisance ; cela fatigue beaucoup les éléments en les faisant bouillir dans l'hydrogène, selon l'expression pittoresque des ateliers.

On doit donc considérer le limiteur de charge comme un complément tout au moins utile.

6° Un dispositif, d'une nécessité moins impérieuse aussi, est souvent employé pour assurer la constance de la différence de potentiel aux bornes des lampes, que celles-ci soient alimentées directement par la dynamo ou que la batterie seule leur fournisse l'énergie.

Sans ce dispositif automatique, les lampes montées en parallèle avec la batterie seraient invariablement soumises à la tension disponible aux bornes de cette batterie. Or, cette tension est très différente selon que la batterie est en charge ou qu'elle débite.

Dans le premier cas, en effet, cette différence de potentiel E, est égale au produit de la force électromotrice e de chaque élément par le nombre n de ces éléments, augmenté de la perte de charge du courant i à travers la résistance ρ de la batterie.

$$E = ne + \rho i$$

Si la batterie alimente seule l'éclairage par un courant i, le terme $\rho i'$ devient soustractif :

$$E' = ne - \rho i'$$

E', nécessairement moindre que E, est adopté pour le voltage normal des lampes. Lorsque la dynamo étant connectée, E est appliqué aux bornes de la batterie, un appareil automatique insère une résistance R entre cette batterie et les lampes. La valeur R est déterminée par l'équation :

$$E - E' = i'R \quad \text{ou} \quad R = \frac{\rho(i + i')}{i'}$$

Remarquons incidemment que ce réglage ne peut être parfait, car i n'est pas constant. De plus, pour établir les relations ci-dessus, nous avons supposé que la tension e restait constante, ce qui n'est pas conforme à la réalité. Maximum au début de la soirée, grâce à la charge du jour, cette valeur va en diminuant jusqu'au terme du service de nuit. Ces remarques s'appliquent particulièrement aux équipements dépourvus du limiteur de tension.

Telles sont les combinaisons automatiques qui se retrouvent généralement dans les systèmes autonomes. Le jeu des quatre premières doit être sûr, car tout manquement exposerait les organes ou même la dynamo à la destruction ; aussi la sagacité

des inventeurs s'est-elle appliquée à la recherche de combinaisons d'enroulements et de balais d'un fonctionnement plus certain. Des équipements récemment produits ont été conçus dans cet esprit; l'expérience prononcera sur leur valeur pratique.

Quoi qu'il en soit, il faut une bonne organisation, un personnel suffisamment nombreux, soigneux et compétent pour assurer l'entretien de ces équipements. La difficulté réside dans le fait que les voitures ne peuvent, comme les locomotives, rentrer chaque jour au dépôt, où des agents les visiteraient sans hâte et sous une surveillance facile à exercer. Le plus souvent, en effet, les voitures ne passent à l'atelier qu'après plusieurs semaines de service sur les lignes. La visite doit donc se faire au passage des voitures dans les gares; on sait combien il est difficile d'obtenir qu'un examen fait dans ces conditions soit consciencieux et non de pure forme.

Pour simplifier le service, on a relié entre elles toutes les batteries d'un train par deux conduites réunissant respectivement les bornes terminales de même polarité, ce qui a permis de substituer à l'ensemble des dynamos de voiture, une seule dynamo capable d'alimenter le train tout entier. On passe ainsi de l'équipement autonome à une première forme de l'équipement collectif, la seule qui avait été réalisée jusqu'aujourd'hui.

Le plus souvent la dynamo est montée sous le fourgon, dont un des essieux lui transmet le mouvement. Les combinaisons automatiques des équipements autonomes s'y retrouvent nécessairement, mais leur concentration sur un seul point du train facilite la visite et l'entretien; on peut même, dans une certaine mesure, y faire contribuer le personnel placé dans le fourgon.

On a monté aussi la génératrice sur la locomotive; dans ce cas, un petit moteur à vapeur, alimenté par la chaudière, actionne la dynamo. De la sorte, tous les mouvements automatiques d'enclenchement, de réglage de la tension et de renversement des polarités peuvent être supprimés. On évite aussi le fonctionnement en dehors des heures d'éclairage et on place la petite usine sous la garde d'un agent de métier.

Malheureusement, à côté de ces avantages, le système collectif par distribution en dérivation présente des inconvénients qui lui sont propres.

Remarquons d'abord que dans les systèmes autonomes, on

fait généralement choix de lampes à bas voltage, 16 à 24 volts par exemple. Ces lampes sont d'un bon rendement et permettent de réduire la composition des batteries à 8 ou à 12 éléments de bonne capacité, robustes et faciles à entretenir.

Le courant ne dépasse guère une trentaine d'ampères et peut être transmis, sans perte de charge sensible, par un câblage léger circonscrit à une seule voiture. Mais il serait loin d'en être ainsi, si les distributeurs étendus sur tout le train devaient transporter un courant total de 300 à 400 ampères sous une telle tension. D'autre part, les câbles de connexion entre voitures devraient avoir une importance qui les rendraient d'un maniement fort incommode. Force est donc de relever la tension pour abaisser l'intensité du courant, d'accroître d'autant le nombre des éléments constituant chaque batterie de voiture et de renoncer à l'emploi des lampes à bas voltage, notamment des lampes à filament métallique si avantageuses dans l'application à l'éclairage électrique des trains. Si l'on veut se tenir à une augmentation du nombre des éléments qui ne soit pas excessive, on ne pourra empêcher que les pertes de charge soient sensibles encore. Pour que l'éclat des lampes ne s'en ressente pas trop, il faut donc employer des appareils de réglage. Le plus pratique de ces appareils consiste en une résistance en fer, dans une ampoule pleine d'hydrogène, que l'on insère dans le circuit de chaque lampe. Si le courant qui traverse la lampe s'élève au-dessus de la normale, le filament de fer s'échauffe fortement et oppose au courant une résistance ohmique rapidement croissante. C'est simple, efficace, mais cela absorbe jusqu'à 30 0/0 de l'énergie envoyée aux lampes.

Mais ce moyen de réglage ne peut être appliqué aux batteries qui, selon leur position dans le train, seront donc soumises à des tensions de charge différentes. Si la charge est arrêtée, il y aura évidemment tendance à l'équilibre, par le fait des courants d'échange qui se produiront. Cependant des courants de cette espèce auront lieu sous charge, par suite de l'insertion d'une voiture dans le train et, dans ce cas, ces courants, se superposant à celui de la charge, pourront avoir une intensité dangereuse.

On y pare au moyen de fusibles; or, le remplacement en service de ces fusibles est une sujétion particulièrement gênante au cours des manœuvres. La formation d'un train et la mise en charge des batteries réclament donc certaines précautions et

ne peuvent être confiées qu'à un agent soigneux et compétent.

La mise en parallèle des batteries établit entre elles une communauté qui peut avoir ses avantages. Elle a aussi ses inconvénients, car un court-circuit entre les plaques, un défaut d'isolement dans une batterie, créeraient une dérivation dans laquelle le courant pourrait acquérir une intensité dangereuse, si les fusibles ne rompaient pas la connexion.

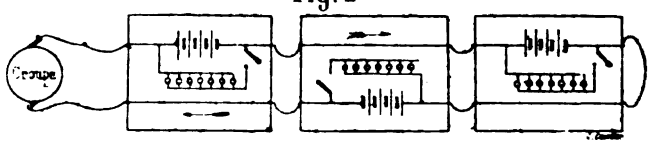
Nous avons parlé de l'avantage qu'il y a à installer l'usine sur la locomotive ; il convient que nous en rappelions l'inconvénient de réclamer du mécanicien une intervention assez assujettissante pour le démarrage, la mise au voltage convenable, la connexion au train, le réglage de l'intensité au départ et au cours du voyage, enfin l'abaissement de la tension préalablement au découplement.

* * *

On n'avait pas utilisé jusqu'ici les distributions en série pour l'éclairage des trains par système collectif. Un des plus graves reproches faits à ce mode de distribution est, on le sait, de ne pas proportionner la perte d'énergie dans les lignes au nombre de récepteurs en fonctionnement, le courant d'intensité constante devant traverser le circuit entier de conducteurs pour alimenter une seule lampe comme pour alimenter la totalité. Ceci n'est à considérer que pour les circuits étendus ; or ce n'est pas le cas de la distribution d'un train. D'ailleurs, on peut faire en sorte que chaque voiture apporte sa fraction de circuit avec son contingent de lampes. La proportionnalité est donc assurée.

M. Pieper et moi, nous avons cherché une nouvelle solution dans cette voie. En réalité le dispositif que nous avons conçu n'embroche en série que les batteries du train, les lampes de

Fig. 2



chaque voiture étant montées en dérivation sur la batterie qui leur est propre. C'est pourquoi l'équipement a été dénommé *série-parallèle* (*fig.* 2).

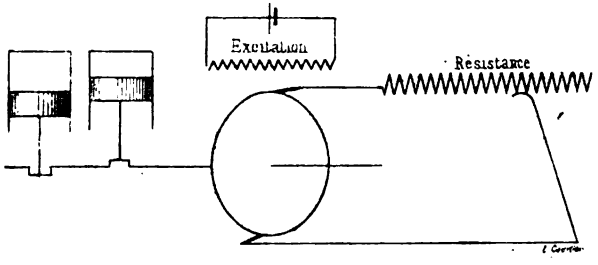
Sur la locomotive, un groupe électrogène est installé, qui ne fonctionne que pendant les heures d'éclairage et débite un courant bien constant sous une tension variable. Ce courant constant traverse successivement toutes les voitures et suffit à l'éclairage complet. Les batteries, montées en parallèle des lampes, n'ont donc à fournir aucun courant; elles n'ont normalement d'autre rôle que de fixer le voltage appliqué aux lampes, en absorbant un léger excès du courant général sur les besoins de l'éclairage. Elles constituent en outre une réserve toujours chargée, pour les cas où le fonctionnement autonome est requis.

Cette conception paraîtra tout d'abord imposer au mécanicien les mêmes charges de conduite, que nous avions trouvées excessives dans les systèmes collectifs en dérivation.

Nous montrerons qu'il n'en est rien, grâce à l'emploi d'un groupe électrogène autorégulateur, dans lequel la force électromotrice se règle d'elle-même pour maintenir la constance du courant, que le train soit long ou qu'il ne se compose que d'une voiture. Disons-le tout de suite, ce résultat est obtenu, non par des mécanismes automatiques, mais par l'application d'un principe physique qui ne peut faillir. Nous allons le rappeler brièvement.

Considérons un moteur à couple moyen constant, par exemple une machine à vapeur à piston, dont la pression et le degré d'admission sont invariables; accouplons ce moteur à une génératrice à champ constant, dont le circuit est fermé sur une résistance que nous ferons varier à volonté (*fig. 3*).

Fig. 3



Faisons démarrer le moteur; pendant la mise en vitesse, le

couple accélérateur C_a sera évidemment l'excès du couple moteur C_m sur le couple résistant C_r

$$C_a = C_m - C_r.$$

Dans cette expression C_m est constant. C_r peut être évalué comme suit; en remarquant que la puissance absorbée par la dynamo est :

$$C_r \times n = \frac{ei}{\rho} = \frac{A}{\rho} \Phi n i.$$

n, nombre de tours; Φ, flux inducteur constant; e, force électro motrice de la dynamo et i, le courant qu'elle fournit; ρ, le rendement et A, une constante de construction. On en conclut :

$$C_a = C_m - \frac{A}{\rho} \Phi i.$$

Lorsque la vitesse cessera de croître, c'est-à-dire à l'état de régime, $C_a = 0$ et

$$C_m = \frac{A}{\rho} \Phi i.$$

Si le courant est constant, ρ varie très peu avec la vitesse.

C_m, $\frac{A}{\rho}$ et Φ étant constants, i l'est aussi.

La valeur de l'intensité est donc indépendante de la résistance et de la vitesse et reste la même à tous les états de régime.

i = constante $= \frac{e}{r}$, r étant la résistance du circuit

$$i = \frac{A \Phi n}{r}.$$

On en déduit $\frac{n}{r}$ = constante.

Dans tout état de régime du système, la vitesse est donc proportionnelle à la résistance totale appliquée.

En résumé, le groupe abandonné à lui-même, acquerra naturellement une vitesse telle que le courant restera constant sans qu'on ait à se préoccuper de réglage d'aucune sorte.

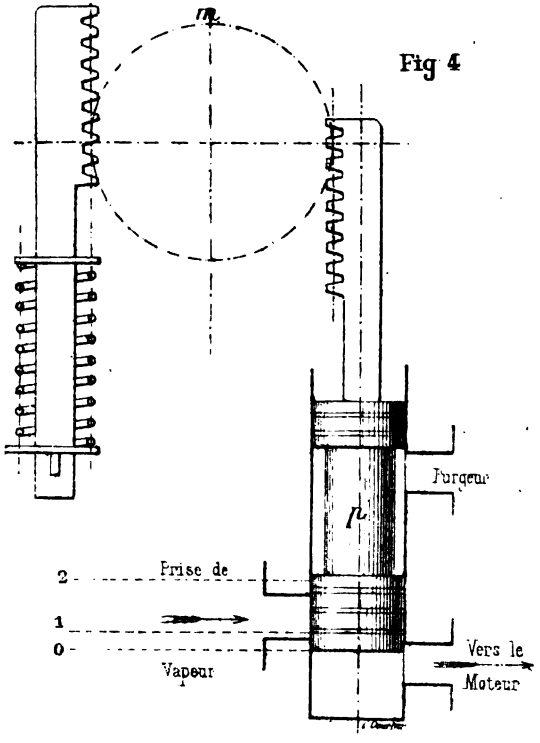
Le groupe tel qu'il a été réalisé comporte un moteur à vapeur vertical à deux cylindres et à simple effet. La pression des coussinets de bielle sur l'arbre coudé agissant toujours dans le même sens, tant à la montée qu'à la descente, une grande vitesse an-

gulaire peut être donnée à l'arbre, sans qu'il en résulte de trépidation. Le distributeur est cylindrique et le calage en est invariable. Les cylindres reposent sur un carter pourvu d'autoclaves, dans lequel les bielles et l'arbre barbotent dans un bain d'huile.

Sans régulateur ni volant, le moteur est en somme un des plus simples qu'on puisse concevoir.

La dynamo, du type cuirassé, est montée en conjonction d'axe avec le moteur, sur une taque commune et fait en quelque sorte corps avec lui. La partie supérieure de la carcasse peut être

Fig 4



aisément soulevée pour découvrir le collecteur et les balais. Une manette montée en bout d'arbre permet de faire tourner l'arbre commun, ce qui rend particulièrement commode la visite de toutes les parties mobiles.

En marche normale, l'excitation série partage avec une batterie de trois éléments montée en dérivation, le courant débité par l'induit.

L'équipement de la locomotive se complète par une batterie de cinq éléments utilisés pour l'éclairage de la plate-forme, du fanal d'avant et du mécanisme, par un détendeur, et enfin par l'appareil démarreur que nous allons décrire succinctement.

Il se compose d'abord d'une prise de vapeur que le mécanicien ouvre en grand une fois pour toutes, quelque temps avant la mise en route. La vapeur admise dans la conduite est retenue par un piston *p* qui glisse dans un cylindre inséré dans la conduite ; l'obturation n'est toutefois pas complète, un filet de vapeur passant par un petit conduit à travers le piston pour aller réchauffer le moteur (*fig. 4*).

Au moment de la mise en marche du groupe, le mécanicien opère sur une manette *m* qui, d'une part, fait tourner le cylindre d'un controller non figuré, et, d'autre part, commande le piston au moyen d'un pignon et d'une crémaillère. Le bas du piston est ainsi amené de la position *0* à la position *1* qui admet une certaine quantité de vapeur au moteur.

Ce même mouvement de la manette fait réaliser par le controller les combinaisons ci-après : la dynamo D est fermée sur l'ensemble des deux batteries B (éclairage) et *b* (excitation) ; la batterie *b* est de plus reliée aux bornes du circuit d'excitation (*fig. 5*).

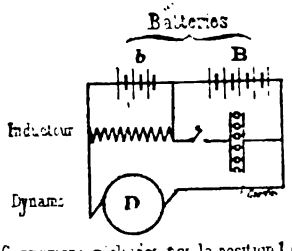


Fig. 5

Connexions réalisées par la position 1 du démarreur

Dans ces conditions la dynamo, fonctionnant comme moteur, fait démarrer le groupe, quelle que soit la position des points morts de la machine à vapeur.

Le mécanicien, prévenu du démarrage par la vue du mouvement du groupe ou par le bruit de la décharge des purgeurs automatiques, complète le mouvement de rotation de la manette en l'amenant à la position *2* qui est celle de marche. Dès lors, il peut cesser de s'occuper de l'équipement.

Cette position 2 admet en grand la vapeur au moteur. La combinaison de marche du controller est la suivante :

Le courant produit par la dynamo, devenue génératrice, part du balai positif et se partage entre le circuit d'excitation et la batterie *b*.

Au delà, deux itinéraires sont offerts au courant (*fig. 6*).

Le premier le conduit par l'armature *a* d'un disjoncteur *d* et par une résistance inerte R au balai négatif;

Le second est formé par la batterie B, et éventuellement l'éclairage de la locomotive, puis par l'enroulement du disjoncteur *d* pour aboutir au balai négatif après traversée du circuit du train C C'.

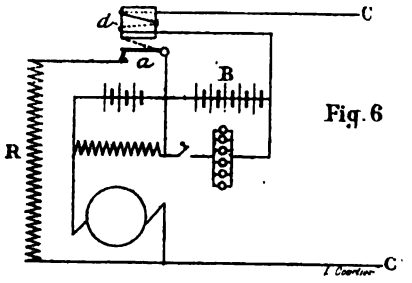


Fig. 6

Connexions réalisées par la position 2 du démarreur

Aussi longtemps que la dérivation vers le train n'est parcourue par aucun courant, ou que le courant qui y passe n'a qu'une faible intensité, l'électro-aimant du disjoncteur n'est pas excité suffisamment pour rompre le premier circuit en soulevant l'armature. La résistance R reste en circuit; la dynamo n'est donc pas à circuit ouvert, si même les connexions du train sont incomplètes.

Mais, dès que l'intensité du courant dirigé vers le train acquiert une valeur suffisante, l'armature est attirée et le courant tout entier passe aux voitures.

Cette succession des faits de la mise en route, dont l'analyse est un peu longue, s'accomplit en quelques secondes. Le mécanicien n'est intervenu que pour manœuvrer la manette en deux temps. Il peut d'ailleurs s'assurer que la mise en route est parfaite en jetant un regard sur un voyant, que l'attraction de l'armature du disjoncteur fait apparaître.

En route, il ne doit observer ni ampèremètre ni voltmètre, manœuvrer ni interrupteur ni régulateur : aucun appareil de cette espèce n'entre d'ailleurs dans l'équipement.

Si, lors d'un stationnement, on découple une partie du train, le courant cessant de ce côté, l'armature du disjoncteur tombe et le groupe ralenti débite son courant constant à travers la résistance R. La connexion étant rétablie dans le train, après la manœuvre faite, le courant y circule de nouveau et rompt le circuit d'attente R. Le groupe reprend instantanément sa vitesse. En aucune façon, le mécanicien n'a eu à intervenir.

Au terme du voyage, cet agent ferme la prise de vapeur; un ressort antagoniste fait reprendre au controller sa position de repos, dans laquelle toutes les connexions sont coupées.

A l'avant de la locomotive est un projecteur à feu blanc, constitué par un bouquet de lampes à incandescence ; sous ce projecteur est une lampe à feu rouge que le mécanicien allume de la plate-forme, au lieu du feu blanc, lorsque la machine marche isolée et en arrière.

Suivant l'usage anglais, des lampes sont placées dans le mécanisme pour en permettre la visite et le graissage sans le secours d'un falot. Enfin, des lampes partiellement masquées éclairent la plate-forme du mécanicien.

L'équipement d'une voiture se compose d'abord d'une batterie B, dont le nombre d'éléments est proportionné à la puissance lumineuse totale qu'on veut donner aux appareils de la voiture. Une voiture de troisième classe à huit compartiments sera pourvue, par exemple, d'une batterie de six éléments ; une voiture mixte en recevra huit, une grande voiture salon aura un double équipement, soit deux fois huit éléments *(fig. 7)*.

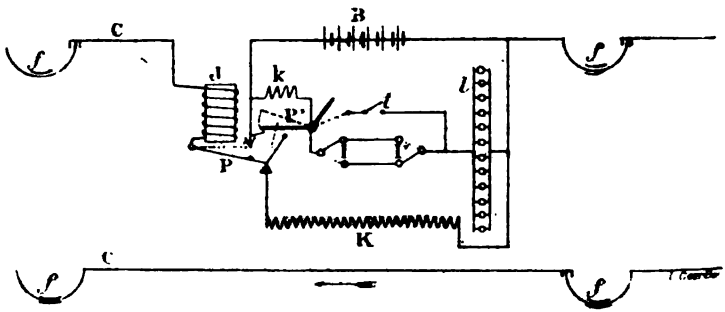


Fig. 7 Appareillage d'une voiture (schéma simplifié).

Lorsque l'équipement fonctionne en autonome, l'éclairage de la voiture est fourni par la batterie B dont le courant passe par le court-circuit P' d'une résistance *k*, un système de clefs I et I' et les lampes *l*, pour revenir à la borne négative de la batterie. La résistance *k* est celle qui sera insérée dans le circuit des lampes, lorsque le courant de la machine desservira l'éclairage, pour compenser l'élévation du voltage qui se produira aux bornes de la batterie. Les clefs I et I', disposées respectivement sur les parois longitudinales de la voiture ou sur une paroi d'about au-dessus des deux tampons, permettent de fermer ou d'ouvrir le circuit des lampes en opérant sur l'une d'elles seulement.

A côté de ce circuit local est disposée la fraction propre à la voiture du circuit général du train.

Dans le fonctionnement en collectif, le courant général, venant de l'accouplement supérieur gauche, traverse l'enroulement excitateur d'un conjoncteur J, son armature P, une résistance K, et se dirige par un nouvel accouplement vers l'arrière du train. Revenant par l'accouplement inférieur droit, il passe directement à l'accouplement inférieur gauche. Les câbles de liaison de voiture à voiture sont fixés, en plan, aux angles inférieur gauche et supérieur droit de chaque véhicule, et s'accouplent chacun à une boîte de jonction du véhicule voisin par une emmanchure à baïonnette bien abritée de la pluie. Les câbles sont sectionnés en leur milieu et les deux moitiés en sont réunies par un joint électrique formé de deux cylindres en laiton, s'emboîtant à frottement dur. Ce joint est couvert d'une enveloppe isolante ligaturée. Le but de cette disposition est d'éviter le bris des câbles et l'endommagement des caisses au cas où l'on séparerait les voitures sans prendre la précaution de découpler les câbles.

A l'extrémité du train, le câble s'accouple à la boîte de la même paroi.

La mise en train en système collectif se fait de la manière suivante :

Le courant venant de la locomotive s'accroît progressivement dans le circuit général du train. Dès que son intensité est telle qu'aux bornes de la résistance K il y a une différence de potentiel légèrement supérieure à la force électromotrice de la batterie B, l'excitation du conjoncteur est suffisante pour attirer l'armature P. Dès lors, la résistance K est hors circuit et la batterie B lui est substituée ; la même levée de l'armature a supprimé le court-circuit de la résistance *k*.

Le courant provenant de la locomotive cesse-t-il, l'armature P retombe et les connexions reprennent l'état primitif.

Sous les deux régimes, l'éclairage s'est maintenu bien constant.

Il n'est pas de règle de faire fonctionner le groupe électrogène lorsque le train n'est pas éclairé ; si néanmoins il y avait lieu de le faire, pour recharger les batteries par exemple, le courant y passerait tout entier ; en dehors de cette manœuvre tout exceptionnelle, les batteries sont maintenues en état de

charge par un léger excès du courant général sur les besoins de l'éclairage.

Dans le schéma des connexions de la voiture, on remarque un pont jeté sur le groupe des interrupteurs II', dans lequel est insérée la clef *t*. Le but de cette disposition est de permettre au mécanicien d'allumer tout le train, à l'approche d'un tunnel, par le fait de la mise en marche du groupe, et de l'éteindre par la mise au repos, dès que le tunnel est franchi. Sur les lignes où pareille manœuvre est utile, la clef *t* est normalement fermée.

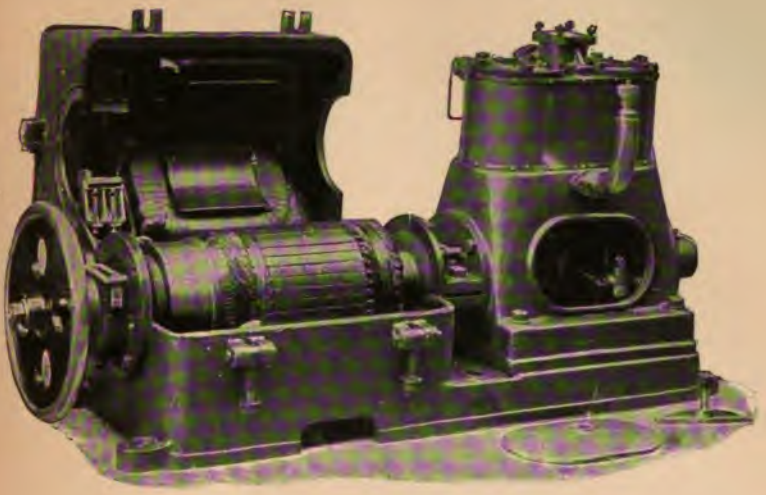
A l'approche d'un tunnel, le mécanicien fait démarrer le groupe ; l'excitation du conjoncteur J suit à quelques secondes près ; le court circuit, en basculant, relie la résistance *k* au circuit *t* et l'éclairage est établi. Le mécanicien, pour éteindre, ferme la prise de vapeur : le courant cesse, l'armature P et le court circuit P' retombent ; le circuit des lampes est rompu.

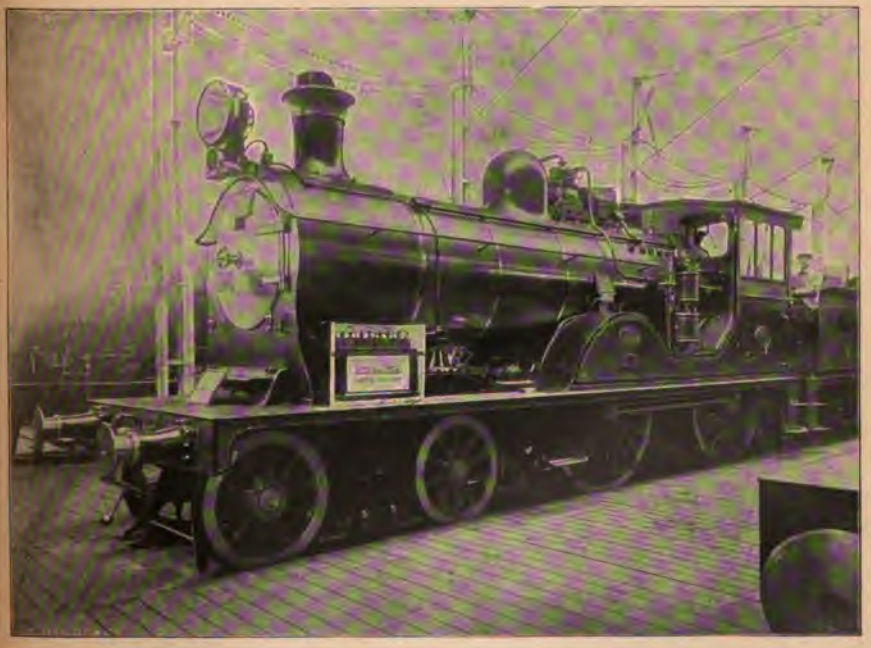
La figure schématique que nous avons tracée pour la facilité de l'explication, pourrait faire supposer que l'équipement d'une voiture comprend des appareils nombreux et disséminés. En réalité, il n'y a par voiture qu'une seule pièce mobile, à fonctionnement automatique : l'armature du conjoncteur qui porte sur son axe quatre plots sur lesquels pressent deux frotteurs. Cet appareil très robuste est enfermé dans une boîte métallique avec les résistances K et *k*. Le tout se place à volonté, soit dans le creux d'un longeron, soit mieux sur le toit de la voiture.

Le câblage est tiré dans des tubes à gaz disposés sur la toiture ; les raccordements aux lampes partent de petites boîtes de jonction insérées au droit des lampes. Aucune partie de l'équipement ne pénètre donc dans les voitures et les polarités extrêmes sont toujours séparées par des carapaces métalliques. C'est là une condition qui nous paraît indispensable à la sécurité.

L'entretien des organes montés sur la voiture se résume à celui des accumulateurs ; encore celui-ci est-il réduit considérablement par le fait que les accumulateurs ne débitent qu'exceptionnellement et sont toujours maintenus en état de charge par un courant de faible intensité.

Nous avons montré à quelles manœuvres sommaires se borne la coopération du mécanicien dans le service de l'éclairage. L'entretien de l'équipement de la locomotive ne s'écarte pas de





celui des pièces mécaniques, à l'exception toutefois des accumulateurs.

Disons un mot des conditions économiques de la production. Dans la grande généralité des machines à vapeur, la vitesse est maintenue aussi constante que possible ; les variations de la puissance, selon la demande, sont obtenues par une modification, nous pourrions dire une altération de la distribution, au préjudice de l'économie de vapeur. Le travail des résistances passives étant une constante à tous les états de charge, les faibles puissances ne sont développées que dans des conditions peu favorables à l'économie.

Il n'en est pas de même d'un moteur dont le degré d'admission est fixé avec la seule préoccupation de le rendre le plus économique. D'autre part si la vitesse, seul facteur variable, croît proportionnellement avec la puissance à développer, le travail des résistances passives restera forcément en rapport avec cette puissance.

Le système série-parallèle, tel que nous l'avons décrit, n'échappe pas à une critique que l'on peut faire à tous les systèmes collectifs ; on leur reproche en effet de confiner les voitures qui en sont pourvues sur les réseaux qui possèdent les véhicules ou les locomotives équipées pour les alimenter. A la vérité, ce reproche ne s'applique qu'aux voitures directes dont l'effectif est relativement restreint ; il mérite cependant qu'on s'y arrête.

Si le parcours à faire hors du réseau n'est pas de bien longue durée, on peut se borner à pourvoir les voitures d'une batterie de capacité suffisante pour alimenter l'éclairage sur les lignes étrangères. S'il s'agit de trains complets, on peut obtenir aussi des exploitations correspondantes qu'elles équipent les locomotives à y atteler, ainsi que cela se pratique pour le frein continu, le chauffage à la vapeur.

Dans le cas du système série-parallèle, on peut enfin, moyennant un supplément d'équipement, approprier les voitures pour fonctionner à volonté en équipement autonome ou en équipement collectif.

Trois organes sont nécessaires à cette fin, à savoir une dynamo, un limiteur de charge et un commutateur de systèmes.

La dynamo est la seule importante de ces additions ; elle est actionnée par l'essieu.

Elle est excitée par un enroulement différentiel, le fil série réduisant le champ résultant au fur et à mesure que le courant augmente d'intensité dans les limites convenables, quelle que soit la vitesse.

A l'état de repos de la voiture, l'excitation shunt est coupée par un interrupteur qui, par un mécanisme centrifuge très simple, se ferme dès que l'induit acquiert une certaine vitesse. De la sorte, la batterie qui alimente l'excitation n'a rien à dépenser pendant les stationnements. Ce circuit shunt est aussi rompu par le limiteur de charge quand la tension de la batterie atteint une valeur qu'on s'est imposée comme limite.

L'induit est fermé sur le conjoncteur et sur le câble de retour. La dynamo, au démarrage, commence donc à débiter son courant sur la résistance K ; le conjoncteur lui substitue la batterie au moment voulu.

Pour rendre le sens du courant indépendant du sens de marche, nous avons usé d'un artifice que nous croyons nouveau.

L'inducteur et les épanouissements polaires ne sont pas confondus avec la carcasse. Ils sont libres de tourner dans cette carcasse d'une fraction de tour égale au pas polaire. Le système mobile, fortement pressé contre son butoir lorsque l'induit tourne dans un sens, est entraîné par la réaction de l'armature lorsque celle-ci tourne en sens opposé. Les pôles sont ainsi inversés par rapport aux balais restés fixes sur la carcasse. Il s'en suit que le sens du courant extérieur n'a pas changé.

Un petit commutateur monté sur la paroi extérieure de la voiture permet, par une simple manœuvre à la main, de permuter les systèmes.

Une voiture non équipée est intercalée sans difficulté dans un train équipé. Un double câble volant, terminé à ses bouts par des accouplements normaux, est jeté sur la toiture et se fixe aisément aux lanternes.

NOUVEAU RÈGLEMENT DU CONSEIL FLUVIAL

POUR

LA RIVIÈRE DU WHANGPOU (1)

Le Gouvernement chinois étant désireux de substituer aux dispositions du protocole de 1901 sur l'institution d'un Conseil fluvial pour la rivière Whangpou et les attributions et ressources de ce conseil, un *modus procedendi* nouveau, en faisant exécuter lui-même les travaux et en prenant à sa charge la totalité des dépenses, et les puissances signataires du protocole final ayant souscrit à ce désir, il a été convenu des conditions énoncées ci-après :

ARTICLE PREMIER — Le taotaï des douanes et le commissaire des de Shanghaï sont chargés de la direction générale des douanes travaux de rectification du Whangpou et d'amélioration de la barre en deça et au delà de Woosung ainsi que leur entretien.

Pour la police fluviale et sanitaire, l'éclairage et balisage, le service de pilotage etc, il sera procédé suivant les anciens règlements.

ART. II. — Trois mois après la signature du présent accord la Chine fera elle-même choix d'un ingénieur versé dans les questions de travaux fluviaux, et, si la majorité des représentants des puissances signataires du protocole final estime que l'ingénieur ainsi choisi possède les qualités requises, la Chine le désignera sur le champ pour entreprendre les travaux.

Dans le cas où après le commencement des travaux, il y aurait lieu, pour des raisons jugées valables par la majorité des ministres intéressés de procéder à son remplacement, le choix et la désignation du nouvel ingénieur s'effectueront dans les mêmes conditions que ci-dessus.

ART. III. — Pour tous les contrats d'entreprise générale ou partielle des travaux fluviaux, d'achat de matériel ou de ma-

(1) Note envoyée par M. J. J. CHOLLOT. Voir Bulletin de Janvier 1902.

chines, etc., il sera procédé par voie de soumission publique, l'adjudication devant être faite au soumissionnaire offrant les conditions les plus avantageuses.

ART. IV. — Tous les trois mois, un rapport détaillé sur les travaux exécutés et un état des dépenses effectuées seront établis et adressés pour examen au corps consulaire à Shanghaï.

ART. V. — L'autorisation du taotaï et du commissaire des douanes de Shanghaï sera nécessaire pour la construction de quais et de jetées ainsi que pour l'établissement de trois pontons ou maisons flottantes dans la rivière.

ART. VI. — Le taotaï et le commissaire des douanes de Shanghaï auront le droit d'exproprier les appareils de mouillage fixes existants et d'établir un système d'appareils de mouillage publics dans la rivière.

ART. V. — L'autorisation du taotaï et du commissaire des douanes sera nécessaire pour l'exécution des travaux de dragage et autres.

ART. VIII — Le taotaï et le commissaire des douanes auront le droit d'acquérir tous terrains situés en dehors des concessions étrangères, nécessaires à l'exécution des travaux d'amélioration et de conservation du Whangpou et de disposer des dits terrains

Si, dans cet ordre d'idée, il était jugé utile d'exproprier des terrains et si ces terrains étaient la propriété des étrangers, le prix sera fixé par une Commission composée d'une personne choisie par l'autorité consulaire dont le propriétaire est ressortissant, une autre choisie par le taotaï et le commissaire des douanes, une autre choisie par le doyen du corps consulaire.

Si le doyen du corps consulaire se trouvait être le consul du propriétaire, le troisième membre de la Commission serait choisi par le consul le plus ancien après le doyen. Le consul de qui ressortira l'intéressé devra assurer l'exécution de la décision arbitrale. S'il s'agissait de propriétés chinoises, la douane procéderait à l'estimation et fixation du prix et à l'exécution de la décision dans des conditions analogues.

Les propriétaires riverains, tant chinois qu'étrangers, auront un droit de préférence pour l'achat ou la prise à bail de tout terrain créé en avant de leurs propriétés avec les asséchements effectués pour l'amélioration de la voie fluviale.

Les prix d'acquisition de ces terrains seront fixés par une Commission constituée ainsi qu'il est prescrit au paragraphe précédent ou, suivant le cas, par l'autorité douanière.

ART. IX. — Le Gouvernement chinois prend à sa charge la totalité des dépenses des travaux fluviaux, sans recevoir aucune taxe ou contribution sur les terrains ni sur le trafic des marchandises ou la navigation.

ART. X. — La Chine indique et donne, comme garantie de la totalité des dépenses des travaux fluviaux les droits entiers sur l'opium de Setchouan et de Sutcheoufou au Kiangsou. Conformément aux prévisions du protocole de 1901, elle consacrera à ces travaux annuellement et pendant vingt ans une somme de 460 000 haïkouan taëls. Si, dans le courant d'une année quelconque après le commencement des travaux, les achats de matériel ou de machines etc, nécessitent une dépense exceptionnelle, la Chine pour y faire face, pourra contracter un emprunt au moyen de bons gagés sur le revenu des droits sur l'opium précités. Pour l'amortissement et le service des intérêts de cet emprunt ainsi que pour les dépenses de toute nature, afférentes à l'exécution des travaux ou à l'entretien des travaux déjà terminés, la Chine fournira annuellement un minimum de 460 000 haïkouan taëls.

Les autorités provinciales compétentes remettront cette somme par versements mensuels égaux, entre les mains du taotaï et du commissaire des douanes de Shanghaï.

Si les revenus désignés devenaient insuffisants, le Gouvernement chinois devra fournir la somme spécifiée sur d'autres ressources.

ART. XI. — Si les travaux n'étaient pas effectués avec diligence, soin et économie, le corps consulaire, sur une décision prise à la majorité des votes, pourra signaler le fait au taotaï et au commissaire des douanes de Shanghaï et leur demander de prescrire à l'ingénieur de prendre les mesures nécessaires pour y remédier. Si l'exécution des travaux continue à être défectueuse, le corps consulaire pourra de même recommander le renvoi de l'ingénieur ainsi que le choix et la désignation d'un autre dans les conditions prévues à l'article II. Dans le cas où le taotaï et le commissaire des douanes de Shanghaï ne tiendraient pas compte de ces démarches, le corps consulaire pourra saisir de la question les représentants des puissances intéressées.

ART. XII. — Lorsque les présentes stipulations auront été discutées, arrêtées et signées, les stipulations contenues dans le paragraphe de l'article XI et dans l'annexe 17 du protocole de 1901 seront suspendues; mais, si la Chine ne fournit pas annuellement les fonds suffisants, conformément au nouvel accord, de telle manière que l'exécution des travaux s'en trouve entravée ou si elle omet de se conformer à quelque autre stipulation essentielle du présent arrangement, les stipulations primitives du protocole de 1901 et de l'annexe 17 reprendront immédiatement leur force.

Péking, le 27 septembre 1905.

Signé: A. VON MUMM,
A VON ROSTHORN,
E. DE GAIFFER,
MANUEL DE CARCER,
W. W. ROCKHILL,
G. DUBAIL,
ERNEST SATOW,
C. CAROLI,
Y. UCHIDA,
A. VAN CITTERS,
G. KOZAKOW.

Chinois.
Date.
Signature du Prince Tching.

Sceau du Waiwupu.

CHRONIQUE

N° 316

Sommaire. — Les locomotives compound à trois cylindres. — Un mode de construction des roues de brouettes. — Influence de l'altitude sur la combustion. — Grandes cheminées aux États-Unis. — Température dans les sondages profonds.

Les locomotives Compound à trois cylindres. — Les locomotives compound du type à trois cylindres ont fait l'objet de nombreuses propositions et aussi de divers essais, dont quelques-uns sur une échelle considérable, mais sans obtenir jusqu'ici, on peut le dire, de succès durable.

Ce système a été proposé pour la première fois par notre regretté collègue Jules Morandiere, en 1866, c'est-à-dire à une époque où l'attention ne s'était pas encore portée sur l'emploi de la double expansion dans les locomotives. Dans ce projet, les cylindres attaquaient deux un essieu et le troisième un autre essieu ; ces deux essieux n'étaient pas accouplés ensemble.

La disposition à trois cylindres fut réalisée pour la première fois sur une locomotive construite aux ateliers de Kolomna, en Russie, en 1882. Les trois cylindres attaquaient le même essieu, deux par des manivelles extérieures présentant le même calage et le troisième par un coude central à angle droit avec les deux manivelles. Cette machine n'eut aucun succès.

A la même époque, Webb inaugura sur le London and North Western son type de locomotive compound, disposé en principe de la même manière que celui de Morandiere, c'est-à-dire avec les deux cylindres extérieurs attaquant un essieu et le cylindre central, à basse pression, un autre essieu, ces deux essieux-moteurs n'étant pas accouplés ensemble. Ce système reçut de nombreuses applications au London and North Western pendant que son auteur y dirigeait le service du matériel et de la traction ; mais partout où il fut employé ailleurs, il ne donna que de très médiocres résultats, ce qui n'a rien d'étonnant vu le caractère tout à fait irrationnel de ce système dont nous avons exposé les difficultés de fonctionnement dans un mémoire inséré au Bulletin de Juillet 1890, pages 74 et suivantes. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

En 1887, le Chemin de fer du Nord français construisit une locomotive compound à trois cylindres, ayant deux cylindres agissant sur un essieu et le troisième sur un autre essieu, ces deux essieux étant accouplés ensemble, ce type ne fut pas reproduit.

En 1893, le Chemin de fer du Gothard essaya deux puissantes locomotives compound, l'une à trois, l'autre à quatre cylindres, construites à Winterthur ; à la suite d'essais prolongés, le type à quatre cylindres fut adopté comme très supérieur. Peu après, en 1896, la Compagnie du Jura-Simplon fit construire des locomotives à trois

cylindres disposées dans leur principe comme celle du Gothard, c'est-à-dire ayant un essieu actionné par deux cylindres et un autre par le troisième cylindre, ces deux essieux étant accouplés ensemble, comme dans le type du Nord et contrairement aux dispositions des systèmes Morandiere et Webb. Ce type donna de très bons résultats et, à la date du 1er janvier 1905, les Chemins de fer fédéraux possédaient 117 locomotives compound à trois cylindres, dont la plupart provenaient du matériel de l'ancienne Compagnie du Jura-Simplon. L'effectif des Chemins de fer fédéraux comportait à la même date un total de 826 locomotives; on voit que 19,1 % de ce total appartenait au type compound à trois cylindres. Mais depuis cette époque il n'a plus été fait que des machines à quatre cylindres.

Enfin, il a été construit en Allemagne deux très puissantes locomotives à trois cylindres, dont nous avons parlé dans la Chronique de Janvier 1904, page 114. Il ne paraît pas en avoir été fait d'autres de ce type.

On paraît cependant y revenir en Angleterre, et nous trouvons à ce sujet des détails intéressants dans l'*Engineering News*.

Trois lignes anglaises essaient en ce moment des locomotives compound à trois cylindres pour le service des trains rapides de voyageurs. Sur le North Eastern et le Midland, les machines sont à deux essieux accouplés dont le premier est actionné par les trois cylindres dont l'intérieur est à haute pression et les deux extérieurs à basse pression. Sur le North Eastern, le premier a 0,482 m de diamètre et 0,660 m de course, et les deux cylindres extérieurs 0,508 et 0,610; le fait des courses différentes est tout à fait exceptionnel; les manivelles extérieures sont calées à 90° l'une de l'autre et le coude intérieur forme le prolongement de la bissectrice de l'angle droit, c'est-à-dire est à 135° des deux autres.

Les machines du Midland ont un cylindre intérieur de $0{,}482 \times 0{,}660$ m comme les précédentes, mais les cylindres extérieurs ont $0{,}533 \times 0{,}660$. Les roues motrices ont un diamètre de 2,134 m.

Le Great Central Ry vient également de faire l'essai du système dont nous nous occupons, qu'il a appliqué à des machines du type *Atlantic*, ayant un cylindre intérieur à haute pression actionnant le premier essieu et deux cylindres extérieurs à basse pression commandant le second, ces deux essieux étant accouplés ensemble. Le premier a un tiroir cylindrique et les deux autres des tiroirs plans équilibrés. On peut envoyer à volonté la vapeur de la chaudière dans les trois cylindres. Le cylindre à haute pression a 0,482 et les cylindres à basse pression 0,533, la course étant pour tous de 0,660 m; les roues motrices ont 2.059 m de diamètre. La surface de grille de la chaudière est de 2,42 et la surface de chauffe de 179,6 m². La pression atteint 200 livres, soit 14,2 kg par centimètre carré. La machine pèse 71.000 kg en service, dont environ 37.000 sur les deux essieux moteurs, 17.000 sur les essieux du bogie et 17.000 sur l'essieu d'arrière.

On n'a pas encore de chiffres définitifs sur les résultats donnés par ces diverses machines et sur leurs dépenses de service comparativement aux locomotives simples à peu près identiques, mais ces résultats paraissent être assez favorables.

Les deux dispositions employées dans ces machines, quant à la commande des essieux par les cylindres, ont chacune leurs avantages ; mais la seconde disposition, c'est-à-dire la division de l'effort entre deux essieux, semble préférable au point de vue de l'équilibre et de la répartition des efforts. C'est ce qui paraît résulter de l'expérience acquise avec les locomotives à quatre cylindres, pour lesquelles on emploie également les deux systèmes, mais beaucoup plus celui des deux essieux moteurs.

Dans le système Webb, les cylindres H P actionnent l'essieu d'arrière et le cylindre unique B P l'essieu d'avant, ces deux essieux n'étant pas accouplés ensemble. Cette indépendance existait même dans les machines à marchandises à trois essieux, dans lesquelles l'essieu d'arrière était accouplé à l'essieu commandé par les cylindres H P, tandis que l'essieu actionné par le cylindre B P était libre. Cette disposition paraît n'avoir pas été étrangère aux résultats plus que médiocres donnés par ce genre de machines.

L'usage considérable fait au London and North Western des locomotives du type Webb est un fait important dans l'histoire de la locomotion bien qu'on n'ait en réalité jamais été complètement édifié sur les résultats pratiques obtenus de ces machines au point de vue de la puissance de traction, de l'économie de combustible et des frais d'entretien comparativement à des machines ordinaires faisant le même service. On a beaucoup écrit à ce sujet, mais les sources auxquelles étaient puisés les renseignements manquaient souvent d'impartialité ou de compétence.

Une machine Webb a été importée en 1889 aux Etats-Unis par la Compagnie du Pennsylvania R. R. et on trouve à son sujet dans l'ouvrage de Wood et Barnes « Compound Locomotives » le jugement suivant : « Les résultats obtenus en service avec la machine Webb, remorquant les trains lourds en usage aux États-Unis ont été satisfaisants au point de vue de l'économie mais non au point de vue de la puissance de traction. La machine démarrait avec difficulté les trains d'un poids normal à cause du patinage des roues ; avec des trains peu chargés, elle donnait des résultats économiques très marqués. »

Un fait très significatif est que, depuis que M. Webb a quitté la direction du matériel et de la traction du London and North Western, son système de machines a été abandonné tout comme le système compound à deux cylindres a disparu du North-Eastern après la retraite de M. Worsdell, bien que celui-ci ait été remplacé par son frère. Au London and North Western, sur 100 machines Webb à voyageurs, 72 ont été déjà démolies et les 28 autres le seront dès qu'elles seront arrivées à la période des grosses réparations. Quant aux machines à marchandises, elles ont été déjà toutes transformées en machines ordinaires.

L'*Engineer* dit au sujet de cette disparition complète du système Webb qu'elle ne constitue pas nécessairement un argument défavorable à la machine compound à trois cylindres. « Le système Webb est définitivement condamné à cause de ses graves défauts, mais ces défauts ne sont pas inhérents à la disposition à trois cylindres, ils tiennent à un cas particulier de cette disposition, caractérisé par l'indépendance des deux machines formant l'ensemble du système compound. On ne saura

probablement jamais quels résultats auraient donné les machines Webb si leurs essieux avaient été accouplés ; il est un fait, c'est que les cinq classes de machines de ce type ont donné trop souvent lieu à des difficultés marquées surtout au démarrage. »

Nous croyons devoir ajouter que M. Webb paraissait avoir fini par se rendre compte des défauts de sa machine, car il était arrivé dans les derniers temps à se rallier au type à quatre cylindres, dont il avait envoyé un spécimen à l'Exposition universelle de 1900.

L'*Engineering News* termine son article en faisant remarquer qu'en Angleterre, contrairement à ce qui se passe généralement sur le Continent et aux Etats-Unis, ce sont les Compagnies de chemins de fer qui étudient leurs types de locomotives et non les constructeurs. Cette situation amène beaucoup de conséquences et explique notamment les modifications profondes qui se produisent dans le matériel avec les changements du personnel supérieur.

Le journal américain a omis de mentionner, parce qu'il ne s'agissait pas d'une machine compound, un essai intéressant du type de locomotive a trois cylindres, fait il y a trois ou quatre ans en Angleterre : nous voulons parler de la machine *Decapod*, construite en 1902 par M. Holden pour le Great Eastern Railway. Cette locomotive, faite en vue de réaliser une accélération rapide pour amener les trains de banlieue en un faible laps de temps à leur vitesse normale, avait, comme son nom l'indique, cinq essieux accouplés avec roues de 1,422 m. commandés par trois cylindres égaux de 0,470 m de diamètre et 0,610 m. de course. La chaudière très puissante avait 3,90 m² de surface de grille et 280 de surface de chauffe et produisait la vapeur à 14 kg de pression. Les trois cylindres étaient à admission directe. Le poids en service, il s'agit d'une machine-tender, atteignait 79,900 kg, soit 16 t par essieu.

On a à l'époque signalé des résultats très favorables qu'aurait donnés cette machine, mais le fait est qu'on ne l'a jamais mise en service, et qu'actuellement on la transforme en une machine à quatre essieux accouplés, commandés par deux cylindres extérieurs, le troisième cylindre étant supprimé. On ne conserve même pas la chaudière qu'on remplace par un générateur de plus modestes dimensions, ayant seulement 2,14 m² de surface de grille et 174 de surface de chauffe avec 12,79 kg de pression. On espère faire ainsi de cette machine un très bon type de locomotive à marchandises dont l'*Engineer*, auquel nous empruntons ces renseignements, donne un diagramme dans son numéro du 20 avril 1906.

Un mode de construction de roue de brouette.. — Des divers outils en usage sur les chantiers, la brouette est probablement celui qui est le moins bien traité. Les réparations des corps sont généralement faites par des charpentiers, et si elles paraissent trop sérieuses, on met l'instrument de côté. Ce sont les roues qui causent le plus d'ennuis, et sur les chantiers importants on a des stocks de roues de rechange.

Un rédacteur de l'*Engineering and Mining journal*, dit qu'un forgeron

italien lui a montré sur un chantier de travaux, une roue de brouette qu'il avait faite pour remplacer une pièce analogue cassée. Cette roue a si bien réussi, qu'on remplace par ce système toutes les roues qui viendront à manquer, et aucune des nouvelles n'a encore éprouvé le moindre avarie. Voici le mode de construction.

Le moyeu est formé d'un vieil écrou à six pans de 25 mm environ, sur chaque face duquel on perce un trou de 10 à 15 mm de diamètre, recevant des bouts de fer rond de même échantillon et de longueur convenable, filetés à chaque extrémité pour recevoir un écrou. Le cercle est percé de six trous fraisés à l'extérieur. On passe les rayons dans les trous du moyeu et du cercle, et lorsqu'ils sont en place, on serre les écrous de manière à bien centrer le moyeu et à donner une certaine tension à l'ensemble. On rive le bout des rayons à l'extérieur du cercle et la roue est fixée.

L'essieu est fait d'un bout de tube d'acier de 37 mm environ, qu'on passe dans le moyeu aggrandi à l'intérieur à ce calibre ; les deux extrémités de ce tube sont aplaties et boulonnées sur les brancards de la brouette.

Le moyeu est maintenu en place, par deux goupilles placées de chaque côté, dans un trou percé dans l'essieu tubulaire.

Influence de l'altitude sur la combustion. — M. Chas. M. Palmer, traite dans la revue *Chemical Engineer*, la question de l'influence de l'altitude sur la combustion. Une discussion s'est élevée à ce sujet à Butte, dans le Montana, où se publie cette revue, à la suite de l'observation faite par un fabricant de ciment, qu'il faut plus de charbon pour cuire le ciment à des altitudes élevées que dans des localités sises plus près du niveau de la mer. Butte est à près de 1800 m. Cette observation parait, au premier abord, en contradiction avec le fait que la température d'ébullition de l'eau s'abaissant à mesure que l'altitude augmente, il faudrait moins de combustible pour vaporiser un kilogramme d'eau à 1800 m, qu'au niveau de la mer. Ainsi l'eau bout au sommet du Mont-Blanc à 82 degrés, il ne faudra donc, pour y porter l'eau à la température de l'ébullition, que les 82 centièmes de la chaleur nécessaire pour obtenir le même résultat au niveau de la mer.

Mais s'il s'agit de vaporiser l'eau, ce qui est le cas d'un séchage ou de la cuisson du ciment, l'avantage est beaucoup plus faible. Ainsi, si on veut vaporiser à 140 degrés de l'eau supposée à 15 degrés, la quantité totale de chaleur est de $606,5 + 0,305\ (100 - 15) = 632$ calories, tandis qu'à 82 degrés la quantité de chaleur nécessaire ne sera plus que de 627, différence 5 calories ou 0,8 0/0. économie tout à fait insignifiante.

L'auteur, ayant été consulté sur la question, a fait quelques recherches ; on ne trouve rien dans les livres, mais il a pu constater que les praticiens admettaient généralement que, pour la fonderie et les opérations métallurgiques, on consomme plus de combustible dans les endroits élevés. Dans des essais faits à Butte sur une batterie de huit chaudières on a obtenu au maximum 8,94 et au minimum 6,32 d'eau vaporisée ramenée à 100 degrés pour un de combustible (charbon gras de bonne qualité à 8 ou 9 0/0 de cendres). La nature des chaudières et

leur conduite auraient permis vraisemblablement d'obtenir 10 de vapeur pour 1 de combustible, aux environs du niveau de la mer.

Le seul renseignement écrit que l'auteur ait trouvé, est dans l'ouvrage *Métallurgy of Load* par Hofman, où est cité le passage suivant d'une communication de Heudden à la Scientific Society du Colorado : « Un pied cube d'air entrant dans un haut fourneau, sous une certaine pression se dilatera plus à une altitude élevée, où la pression atmosphérique est réduite qu'au niveau de la mer ; la consommation de calorique sera donc plus considérable et nécessitera une plus grande quantité de combustible. De même, à une plus forte altitude, il faudra plus de travail, et par suite plus de charbon pour obtenir un pied cube d'air comprimé ».

Il semble, d'après les termes de ce passage, que la pression absolue du vent serait la même pour les différentes altitudes ; or ce n'est pas le cas.

Le manomètre indique la pression de l'air soufflé au-dessus de la pression atmosphérique, laquelle varie avec l'altitude. Un calcul très simple, indique qu'une livre d'air à la température de 60 degrés F (15,5 degrés) et à la pression de 16,7 livres (1,18 kg par centimètre carré) occupe un volume de 11,54 pieds cubes ; si cet air se détend sans variation de température jusqu'à la pression de 14,7 livres (1,04 kg), le volume deviendra 13,11 pieds cubes. A une pression de 13 livres formée de la pression atmosphérique à l'attitude de 2290 m et de 2 livres de pression effective, le volume sera de 14,80 pieds cubes, lesquels se détendant à 11 livres, deviendront 17,5 pieds cubes. L'abaissement de température pour l'expansion adiabatique dans les deux cas, est de 26 et 34 degrés F ; il semble qu'on peut prendre la différence de ces deux chiffres comme représentant la perte de chaleur par livre d'air, ce serait donc 8 degrés, cette perte correspond à $8 \times 0{,}24 = 1{,}92$ unités thermiques britanniques ; 0,24 est la chaleur spécifique de l'air.

La quantité théorique d'air nécessaire pour la combustion complète d'une livre de coke, dont la puissance calorifique est, par exemple de 12500 B. L. U. (3125 calories par kilog), est de 10 livres ; si on emploie le triple du chiffre théorique, il faut employer un excès de coke pour fournir la chaleur perdue par l'expansion de l'air. Cet excès représente moins de 0,5 0/0. On voit donc que si la cause indiquée produit incontestablement un effet, cet effet est, en pratique, absolument insignifiant.

Mais il y a d'autres considérations qui jouent un rôle beaucoup plus important dans la question. Nous voulons parler de l'influence de l'état de concentration de l'oxygène, dans l'air atmosphérique sur la combustion. On doit considérer la combustion comme une réaction chimique entre l'oxygène de l'air et les parties oxydables du combustible. Cette combustion produit, par unité de poids, une certaine quantité de chaleur qui dépend de la nature du combustible, tandis que la température développée par la combustion, varie à la fois avec la nature du combustible et avec les conditions dans lesquelles s'opère la combustion et notamment avec la rapidité de celle-ci.

Le temps, joue un rôle dans les réactions chimiques, et l'intensité de celles-ci, est d'autant plus grande, que la quantité des matières actives en présence dans l'unité de temps est plus considérable. Ainsi, dans un

foyer où s'opère la combustion, l'effet dans l'unité de temps est proportionnel au produit de la concentration de l'oxygène dans l'air, que nous appellerons o, par la concentration de la matière oxydable dans le combustible que nous appellerons c. Si on les prend tous deux pour unités, on a $oc = 1$ (1).

Au niveau de la mer, où la pression de l'atmosphère est de 0,76 m de mercure, 1 kg d'air est contenu, à la température ordinaire, dans 3,57 m³ d'air. Si on appelle y, le poids d'oxygène contenu dans un volume d'air, et x, la pression en centimètres de mercure, on a $y = 0{,}01315\ x$ (2).

Cette solution permet d'avoir pour toute valeur de x la quantité d'oxygène contenue dans l'air, comparativement à la même quantité dans l'air pris au niveau de la mer.

D'après la relation (1), toute variation dans o, c'est-à-dire dans la proportion d'oxygène de l'air, amènera une variation correspondante dans l'effet de la réaction, variation qu'on mesure par la substitution à o des valeurs trouvées pour y par l'équation (2).

On brûle du combustible dans un foyer pour obtenir une certaine température ou pour obtenir un certain effet au moyen d'un poids donné de matières. Si on suppose deux foyers identiques fonctionnant l'un au niveau de la mer, l'autre à 2.000 mètres d'altitude, dans les mêmes conditions quant à la nature du combustible, à la pression du vent, celle-ci étant supposée de 0,10 m de mercure; la pression absolue sera donc, dans le premier cas, dé 0,86 m de mercure et, dans le second, de 0,67,

Le premier fourneau emploira de l'air à 0(86 m de pression, contenant 1,13 kg d'air pour 3,57 m³ ; si dans l'équation (1) on prend le combustible c pour unité, on a o 1,13, c'est la représentation de l'effet obtenu dans ces conditions.

Le second fourneau employant de l'air à 0, 67 m de pression pour le même volume 3,57 d'air, on a pour o la valeur de 0,88, il en résulte que la moindre richesse du volume d'air en oxygène a abaissé l'effet dans la proportion de 1,13 à 0,88, soit une diminution de 28 o/o.

Il y a évidemment à la décroissance de la proportion d'oxygène une limite au-dessous de laquelle la combustion ne se produirait plus ou tout au moins s'effectuerait dans des conditions qui ne permettraient plus d'atteindre la température d'ignition. Les choses ne se passent pas d'ailleurs d'une manière aussi simple qu'on l'a indiqué. Si la proportion d'oxygène diminue, il se produit des réactions accessoires. D'abord, il y a formation de plus grandes quantités d'oxyde de carbone et des hydrocarbures se dégagent et ne brûlent qu'incomplètement. Il en résulte que l'effet produit est encore moindre qu'on ne l'a indiqué, De plus comme il faut une plus grande quantité de combustible et beaucoup plus d'air pour obtenir le même effet qu'au niveau de la mer, les conditions deviennent plus défavorables, il y a plus de chaleur perdue par suite de la plus grande quantité de matières en présence. L'augmentation de dépense sera donc, pour toutes ces raisons supérieure à la proportion de 28 o/o trouvée plus haut. Nous empruntons ce qui précède à l'*Engineering and Mining Journal*, du 20 janvier 1906.

Grandes cheminées aux États-Unis. — Nous trouvons dans l'*Engineering and Mining Journal* la description sommaire d'une cheminée récemment élevée sur une usine métallurgique à Butte, dans l'État de Montana et qui est donnée comme la plus haute cheminée en béton qui existe dans le monde. Elle s'élève en effet, à la hauteur de 107,54 m au-dessus du sol et le journal américain ajoute que son sommet se trouve à une altitude de 1.766,35 m au-dessus du niveau de lu mer, ce qui pourrait constituer une sorte de record.

Le diamètre intérieur, en haut et en bas, est de 5,49 m.. les fondations descendent à 2,10 m en-dessous du sol ; la base de la cheminée est formée d'une sorte de caisse en fonte, de 30,50 m de côté, remplie de laitier en fusion dans lequel on a noyé quantité de pièces de métal de toute formes. On a ainsi constitué un massif de laitier armé de 5,40 m. de hauteur ayant 30,50 m de diamètre à la base et 20 m environ au sommet, lequel massif s'enfonce de 2,10 m. dans le sol et le dépasse par conséquent de 3,30 m.

Sur cette base s'élève un soubassement en béton de ciment de Portland de 12.70 m de côté et 2,50 de hauteur, contenant des barres de fer qui se projettent à la partie supérieure pour pénétrer dans les parois de le cheminée proprement dite.

Celle-ci est constituée par une série de segments de 1,067 m de hauteur fabriqués dans des moules et constituant par leur réunion un anneau complet. Ces segments contiennent des barres de fer verticales et horizontales. Le nombre des segments diminue à mesure que la hauteur augmente. Pour les premiers, 6,40 m, les parois de la cheminée ont une épaisseur de 0,44 m, c'est dans cette partie que débouchent les deux carneaux, un de chaque côté, ayant une section de 2,4 m. × 5,10 m. Au-dessus commence la cheminée à double enveloppe. une extérieure, de 0,23 m. d'épaisseur et une extérieure de 0,125 m,, avec un intervalle de 0,101 m. contenant de l'air et mis en communication avec l'atmosphère par des trous pratiqués à la base de l'enveloppe extérieure.

L'enveloppe intérieure ne va que jusqu'à 31 m au-dessus de la base et se réunit à ce point avec l'enveloppe extérieure, qui de là au sommet a une épaisseur constante de 0,18 m. La cheminée se trouve ainsi avoir 6,40 de diamètre extérieur à la base et 5,84 au sommet.

Le poids de cette construction peut s'évaluer de la manière suivante : fondation en laitier, 12.000 t., base en béton 4.000 t cheminée proprement dite 1.975. Total 15.275 t. Cette cheminée qui peut réclamer l'honneur d'être la plus haute et la plus grande de sa construction qui existe dans le monde, est, en outre une des plus grandes cheminées des États-Unis, comme on peut en juger par les chiffres suivants : La cheminée de la Washoe Copper Cy, à Anaconda, construite en briques, a 9,15 m. de diamètre intérieur et 91,50 m. de hauteur ; la cheminée en briques de la Métropolitan-Street-Railway Cy, à New-York, a 6,70 m. de diamètre intérieur et 107,67 m. de hauteur ; la cheminée des Clark-Thread-Work, à Kearney (New-Jersey), a 3,35 m de diamètre intérieur et 102,17 m. de hauteur; celle des fonderies de Omaha and Grant, à Denver (Colorado), 4,85 m de diamètre intérieur et 106,75 m de

hauteur. Il existe à la Oxford Copper Cy, à Constable-Hook, une cheminée en briques de 6.10 m. de diamètre intérieur à la base, 3,75 m au sommet et 109,80 m. de hauteur et, aux fonderies de Tacowa, dans le territoire de Washington, une cheminée en béton de 5,50 m de diamètre intérieur et 91,40 de hauteur.

On avait projeté d'abord d'élever la cheminée en briques sur la fondation de laitier, on s'est décidé, en cours d'exécution à faire le fût en béton armé suivant les plans de la Weber-Steel-Concrete-Chimney-Construction Cy, de Chicago, laquelle, ainsi que son nom l'indique, a une spécialité de ce genre de travaux.

Dans la liste que nous venons de donner des plus grandes cheminées des États-Unis, ne figure pas une construction de ce genre dont nous trouvons la description dans l'*Engineering News* et dont il nous parait intéressant de dire quelques mots.

C'est la cheminée de la Compagnie Heller et Merz, à Newark (New-Jersey), servant à l'évacuation des fumées acides d'une fabrique de produits chimiques. Cette usine, à l'origine isolée, s'est trouvée peu à peu englobée dans des quartiers dont les conditions d'hygiène devaient être respectées et il a fallu remplacer la cheminée par une de très grande hauteur pour amener les fumées incommodes et insalubres à une élévation suffisante ; on a été ainsi conduit à lui donner une hauteur de 106,75 m. au-dessus du sol.

Comme on ne pouvait trouver le terrain solide qu'à une profondeur de 18 m. sous une couche de matières argileuses de consistance molle, on a battu des pieux de cette longueur au nombre de 324 écartés en moyenne de 0,75 m ; on s'est servi d'un mouton de 1.368 kg., ces pieux forment un carré de 13,50 m de côté ; chacun supporte, y compris la charge additionnelle causée sur le bord du carré par l'action du vent sur la cheminée, une charge maxima de 17,000 kg. Sur cette fondation repose un massif de béton de 4,25 m de hauteur ayant une base carrée et une surface hexagonale à la partie supérieure. Le fût de la cheminée qui repose sur ce massif a 8,40 m de diamètre à la partie inférieure et 3,05 m. au sommet ; il est construit entièrement en briques de type Custodis qui sont des briques en forme de segments de cercle percée de trous de 25 mm.. Ces briques ont une épaisseur constante de 0,102 m et il y en a 20 modèles différents pour pouvoir s'accomoder aux diverss diamètres.

La cheminée est munie d'une chemise intérieure de 0,102 m. d'épaisseur, laissant entre elle et l'enveloppe formant la cheminée proprement dite un intervalle de 51 mm. qui reste vide ; cette chemise est faite par portions de 6,10 m. dont la base repose sur des briques de la paroi de la cheminée, posées en encorbellement, cette disposition rachète le fruit de la paroi de la cheminée. Les briques dont est faite cette chemise sont très réfractaires et résistent aux acides ; elles sont assemblées avec un mortier formé d'amiante et de silicate de soude qui peut supporter des températures de 1.100 degrés c. .

Ces briques Custodis supportent à l'écrasement des efforts de 350 kg. par cm^2. La cheminée est calculée pour résister à des pressions de vent de 160 kg. par m^2 de surface verticale projetée.

On a employé dans cette construction pour la fondation 6,000 barils de ciment, 300 m³ de sable et 600 m³ de pierres cassées et pour la chemise 2 000 t de briques, 500 barils de ciments, 800 de chaux et 450 m³ de sable. Le prix á forfait pour la construction était de 160.000 f Le travail a duré sept mois.

Une autre grande cheminée est celle de la American Smelting and Refining Cy, à Garfield près de Salt-Lake-City, dans l'Utah ; elle n'a que 91,50 m de hauteur mais elle a 9,15 m de diamètre au sommet, elle passe pour la première du monde pour la puissance, elle porte une chemise intérieure sur 30 m seulement de sa hauteur parce que les gaz qu'elle évacue sont déjà assez refroidis par un long parcours dans des carneaux

Température dans les sondages profonds. — Nous avons déjà eu plusieurs fois l'occasion de traiter de la température dans les puits profonds. Nous citerons, entre autres, des observations faites aux États-Unis par le professeur Agassiz et mentionnées dans la chronique de Janvier 1896, page 126. Ces observations faites aux mines de Calumet and Hecla, donnaient des chiffres différant très sensiblement de ceux qu'on trouve généralement et qui roulent autour de 1 degré C d'augmentation de température par 30 m de profondeur.

Un travail du professeur Heinrich de Wiesbaden, publié dans le *Zeitschrift für Prakt. Geologie*, donne des résultats obtenus sur le sondage de Paruschowitz, dans la Haute-Silésie, sondage, dont nous avons dit quelques mots dans la chronique de Février 1896, page 204. Ce sondage est descendu à la profondeur extraordinaire de 2.003 m les observations thermométriques ont été faites jusqu'à celle de 1959 m. On a fait 64 relevés à des intervalles de 31 minutes, en commençant à un niveau de 6 m. Ces observations présentent un très grand intérêt de ce fait qu'elles iront jusqu'à des profondeurs non atteintes jusque-là.

Les difficultés que présente le relevé des températures pour des sondages de très grandes profondeurs tiennent principalement à ce qu'il se produit dans ces trous des courants qui tendent à déplacer l'eau qu'ils contiennent en amenant l'eau chaude à la partie supérieure et l'eau plus froide au fond. On peut prévenir cet effet par divers moyens. le plus simple parait être celui qui consiste à injecter de l'argile en poudre fine, ce qui obstrue la circulation. C'est ce moyen dont on s'est servi à Paruschowitz.

A de grandes profondeurs pendant le sondage, alors que l'outil remplit le trou presque exactement, on n'éprouve pas de difficultés sensibles du fait des courants. On constate que lorsqu'un sondage a été bien tubé, les températures observées dans la partie supérieure sont généralement trop élevées.

Pour faire les constatations de températures, on s'est servi de six thermomètres placés dans une gaine en acier éprouvée sous une pression hydraulique de 250 kg par centimètre carré. Cette gaine est à son tour placée dans une tige creuse. A chaque point d'observation le thermomètre est laissé trois heures,

Le professeur Heinrich a donné des tableaux bien détaillés d'où sont extraits les chiffres suivants :

Observations	Proportions	Températures
1	6 m	12.1 degrés centigrades
10	283	18.9
20	595	28.8
30	905	35.8
40	1215	46.4
50	1525	53.8
60	1835	65.0
64	1959	69.3

Les différences sont assez variables ; ainsi les deux observations voisines à la partie supérieure donnent 9 degrés de différence pour 41 m d'ac-croissement de profondeur, tandis que les deux du fond donnent 1 degré pour 28.80 m.

La conclusion est que l'augmentation moyenne de la température est de 1° pour 31.82 m. Il a été fait d'autres observations qui ont donné des chiffres généralement plus élevés, ainsi à Sperenbourg on a trouvé 1° pour 31.82 m, à Schludebock on a trouvé 1° pour 35.04 m. Les observations du professeur Heinrich ont une valeur sérieuse à cause des soins excessifs avec lesquelles elles ont été faites. Il serait à souhaiter que, dans l'exécution des sondages profonds, on fit des observations de ce genre, de manière à accroitre la quantité de documents qu'on possède en ce moment sur une question qui présente un grand intérêt au point de vue de la physique du globe.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Mars 1906

Rapport de M. BERTIN sur le **radeau de sauvetage** de M. J. J. WATSON.

Le rapport, toutes réserves faites sur les services à attendre de ce genre d'appareils et sans entrer dans aucune description, se borne à dire que l'appareil est bien conçu et d'une forme rationnelle. Le lancement, qui s'opère en faisant simplement glisser l'engin sur deux rails transversaux, s'opère en quelques secondes.

Rapport de M. E. BOURDON sur **une étude générale des sables à mouler** pour leur emploi rationnel en fonderie, de M. J. VINSONNEAU, ingénieur à Paris.

Dans le mémoire dont il s'agit, l'auteur expose une méthode simple et pratique qu'il a imaginée pour arriver à faire d'une manière précise et régulière les mélanges de sable convenables pour chaque cas particulier. Voici le principe de cette méthode. Le sable de fonderie se compose chimiquement de silice et d'alumine avec de l'oxyde de fer et de la chaux comme impuretés. Il doit avant tout être réfractaire, poreux et moelleux surtout au toucher. On a pour guides dans le choix à faire : 1° le grain et 2° l'état réfractaire ; le sable doit être d'autant plus gros que les pièces à mouler sont plus lourdes et plus épaisses. On doit d'abord faire l'analyse des sables, ce qui permet de dresser un tableau où l'on inscrit les quantités de silice, d'alumine, de chaux et d'oxyde de fer correspondant à chaque échantillon, puis, au moyen de ces chiffres on trace quatre courbes indiquant les proportions des quatre éléments pour les divers sables analysés. Un tracé graphique des plus simples permet dès lors de déterminer quelle quantité de chaque sable il faut pour obtenir un mélange contenant telle proportion d'un élément.

Pour compléter cette méthode, M. Vinsonneau indique un procédé de vérification pour l'atelier. Ce procédé consiste à délayer dans un vase de verre, du sable avec de l'eau ; le dépôt étant effectué, on voit la matière réfractaire du sable se déposer d'abord au fond du vase, puis en dessus la partie plastique plus volumineuse, la ligne de démarcation est très nette. Si on opère avec des volumes égaux de sable et dans des éprouvettes de même section, on peut comparer les sables d'après les hauteurs des dépôts dans chaque éprouvette.

Distribution d'engrais en lignes, par M. Henri Pillaud, ingénieur agronome.

L'auteur donne les résultats d'essai de différents modèles de semoirs avec le nitrate de soude et le sulfate de potasse et en tire quelques conclusions relatives à l'état sous lequel les fournisseurs doivent livrer les engrais pour que les semoirs fonctionnent bién ; ces appareils ne pouvant pas remplir le rôle de broyeurs, les engrais doivent être surtout bien broyés et réduits en poudre fine.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Voici les titres des principaux sujefs traités ici : Le cinquantenaire de la découverte du violet d'aniline. — Sur deux mines d'or des Alpes. — Une distinction entre la combustion et l'inflammation. — La pénétration de la chaleur dans le bois. — Le pouvoir antiseptique des permanganates. — A propos du saturnisme. — Explosifs à l'air liquide. — Liquéfaction de l'air. — Procédé aérographique de peinture. — Solidité des couleurs pigmentaires.

Notes économiques, par M. M. Alfassa. Les primes à la marine marchande.

Notes de mécanique.

Nous trouvons dans ces notes une étude sur l'économie des grandes stations de force motrice, d'après M. G. Scott, une sur les pieux en ciment, et la description d'une allège pour l'embarquement des charbons.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

4e Trimestre de 1905

Paroles prononcées aux obsèques de M. Th. Veron-Duverger, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, par M. Brosselin, ancien vice-president du Conseil général des Ponts et Chaussées.

Notice bibliographique sur M. Gauckler, ancien inspecteur général, par M. Stoecklin, ancien vice-président du Conseil général des Ponts et Chaussées.

Notice sur la vie et les travaux de M. G. Forestier, inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. de Joly, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Rapport sur les **travaux du tunnel du Simplon**, par M. Jacquier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Cette note, après un historique succinct de l'entreprise du Simplon, examine les conditions générales du percement, la nature géologique

des terrains, l'exécution des travaux et donne des renseignements statistiques sur cette exécution. Cette question a été si souvent traitée dans nos bulletins qu'il nous paraît inutile d'insister.

Essais de traction électrique de Saint-Georges-de-Commiers à la Mure, compte-rendu de M. P. Dumas, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Il a été fait sur la ligne à voie de 1 m de Saint-Georges-de-Commiers à la Mure, exploité par l'Etat, des essais de traction électrique entre les gares de La Motte-les-Bains et La Motte d'Aveillans sur une longueur de 6.635 m. Ces essais ont été effectués au moyen d'une locomotive électrique construite par la Compagnie de l'Industrie électrique à Genève. Cette machine est portée sur quatre essieux répartis en deux bogies, chaque essieu étant actionné au moyen d'engrenages par un moteur électrique pouvant développer 125 chevaux. On emploie le système de distribution dit à trois fils à courant continu. La tension est de 2400 volts. On monte 20 wagons vides et on descend le même nombre de wagons chargés, ce qui fait un tonnage de 300 t, locomotive non comprise, au lieu de 100 à la montée.

Les résultats ont été favorables, on dépense 120 kilowatts-heure, en moyenne, par train, montée et descente comprise et de 38 et 48 watts-heure par tonne kilomètre brute ou remorquée.

Note sur **un système de pont à arc en charpente** et à tirants métalliques, extrait du Journal de Mission de M. Thiollière, élève-ingénieur.

Ce système de pont a été employé par le Génie pour rétablir un pont détruit en 1904 par une inondation sur la route de Moutiers à Pralognan. Ce pont, situé à Bozel, comprend quatre parties de 5 m soit 20 m d'une seule portée. Chacune des deux poutres en bois a son périmètre supérieur formé d'un pentagone rattaché par ses sommets à la partie inférieure rectiligne, au moyen de tirants. Le pont est installé pour supporter une charge uniformément répartie de 700 kg par mètre courant.

Ce pont a assuré pendant onze mois une circulation quotidienne de 50 véhicules et 100 personnes.

La voiture à six roues, et la suspension compensatrice du capitaine Lindecker par M. Le Gavrian, ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'emploi de voitures ayant au plus deux essieux limite les charges à transporter. Il serait donc désirable de porter à trois le nombre des essieux, mais il faut modifier la suspension. Le capitaine du génie Lindecker a donné une solution de la direction et de la suspension qui, pour la seconde, consiste dans l'emploi de balanciers de compensation constitués par des ressorts à lames articulées directement aux châssis. La note donne le calcul de cette suspension et l'indication de ses diverses propriétés. Des esssais pratiques effectués dans le courant de l'été de 1905 ont confirmé les propriétés indiquées pour cette disposition.

Calcul des ponts courbes. par M. Resal, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Lorsqu'une voie ferrée doit se développer en courbe sur un pont, on fait inscrire la plate-forme curviligne dans le contour rectangulaire du tablier en augmentant au besoin l'écartement des poutres principales. Il peut se présenter toutefois des cas où on devrait établir le tablier en courbe. L'auteur s'est proposé d'étudier cette condition qui ne s'est pas encore présentée dans la pratique. Les deux particularités qui se rencontrent sont les efforts de tension et l'action du vent dont la note examine l'influence.

Goudronnages effectués en 1903, 1904 et 1905 dans le département de Seine-et-Marne.

On trouve sous ce titre des notes des Ingénieurs d'arrondissement du département et une de l'ingénieur en chef qui les résume.

La conclusion est que le goudronnage produit une économie d'entretien sur les chaussées très fréquentées, mais qu'il serait très onéreux sur les chaussées à faible circulation. Le goudronnage, pour donner de bons résultats, doit être fait avec des précautions dont l'expérience a indiqué la nécessité. On se propose, en Seine-et-Marne, de continuer à goudronner tous les rechargements neufs exécutés sur des chaussées très fréquentées (surtout par les automobiles) et partout où des circonstances particulières comme le voisinage d'une sucrerie, d'une usine quelconque, etc., provoquent la désagrégation rapide des matériaux constitutifs de la chaussée.

Construction géométrique du rayon de gyration d'une aire plane par rapport à une direction quelconque, par M. Farid Boulad, ancien Élève de l'École des Ponts et Chaussées.

Note sur **le calcul d'une voûte en maçonnerie** par M. Noric, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Il s'agit de la simplification dans un cas particulier de la méthode de M. Resal.

ANNALES DES MINES

12e livraison de 1905.

Sur une méthode nouvelle de notation des enclanchements, par M. Perrin, Inspecteur général des mines.

Cette note traite d'une modification à la notation de M. Bricka, modification ayant pour objet d'obtenir, pour les enclanchements des divers types, des formules plus condensées et surtout faisant mieux image, plus propres par conséquent à laisser apercevoir du premier coup d'œil les différentes manières de les énoncer, ainsi que les simplifications dont est susceptible un système donné.

Compte-rendu de quelques essais relatifs à **l'écoulement de la vapeur**, par M. C. WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines.

Ces essais ont été faits dans le but d'élucider le point suivant : un récipient recevant la vapeur d'un générateur par une conduite et étant d'autre part, mis en relation avec l'atmosphère par un tuyau d'échappement, quelle est la pression susceptible de subsister dans le récipient. Les essais ont été effectués au Conservatoire des Arts et Métiers. On a constaté que les résultats observés concordaient d'une manière satisfaisante avec les résultats obtenus par le calcul.

Bulletin des accidents d'appareils à vapeur, survenus pendant l'année 1904.

Ces accidents ont été au nombre de 29; ils ont causé des blessures à 18 personnes et amené la mort de 26.

Si on les examine par espèce d'appareils, on en trouve 5 survenus à des chaudières non tubulaires, 12 à des chaudières à tubes à fumée, 2 à des chaudières à tubes d'eau, 1 à des rechauffeurs, 6 à des récipients et 2 à des soupapes de sûreté ou d'arrêt.

Enfin au point de vue des causes, on en trouve 5 attribués à des conditions défectueuses d'établissement, 11 à des conditions défectueuses d'entretien, 11 à un mauvais emploi des appareils et 3 à des causes non précisées. On trouve 34 causes pour 29 accidents parce que dans plusieurs cas, l'accident a été attribué à deux causes.

1re livraison de 1906.

Observations géologiques sur quelques sources thermales, par M. L. de LAUNAY, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École Nationale supérieure des Mines.

Ces observations géologiques portant sur les sources de Bagnoles, du Mont Dore, de Chaudes-Aigues et de Castana en Espagne; elles présentent le caractère commun que, dans chaque cas particulier, le mode d'émergence de la source et ses conditions d'alimentation apparaissent, lorsqu'on l'examine avec soin, directement régis par les dispositions géologiques et topographiques de la région considérée.

Il en résulte une nouvelle preuve à l'appui de la théorie d'après laquelle les sources thermales sont, en général, le résultat de simples circulations presque superficielles sans aucun caractère éruptif. Ces études font, en même temps, ressortir l'importance et le mode d'action des pressions hydrostatiques exercées par une rivière voisine sur un griffon thermal.

Note sur **l'industrie française des schistes bitumineux**, par M. A. ARON, Ingénieur des Mines.

L'objet de cette note est d'exposer les transformations opérées dans l'industrie des schistes bitumineux dans la période du régime des primes qui, inaugurés en 1893, a pris fin en juillet 1905, et d'examiner les progrès réalisés au double point de vue du rendement et de la qualité des produits.

La méthode *française* employée primitivement consistait à distiller les schistes à une température modérée (300 degrés), le résidu solide tombait ensuite dans une enceinte en briques disposée sous la cornue de distillation où il achevait de brûler au contact de l'air en produisant une chaleur utilisée pour la distillation de la charge suivante Ce procédé est caractérisé par une distillation à température modérée, sans addition de combustible étranger.

La méthode *écossaise*, au contraire, opère à une température élevée nécessitant la combustion de houille à l'intérieur du gazogène. La cornue prend la forme d'un four à cuve entouré de carneaux où s'effectue la combustion et la distillation se fait en présence de vapeur d'eau qui facilite le départ des produits lourds et ammoniacaux. Les frais supplémentaires de combustible sont largement compensés par le rendement plus élevé et la possibilité d'utiliser les sels ammoniacaux contenus dans les schistes. Cette méthode a encore été améliorée par l'emploi d'une nouvelle cornue de capacité supérieure qui, sans changer le rendement, augmente l'utilisation des appareils.

Ces transformations ont porté le rendement du schrite de l'Autunois de 6 à 7.7 °/₀ soit 30 °/₀ d'augmentation. L'huile obtenue, dit pétrole français, est surtout employée à l'état de mélange avec les pétroles américains et russes; les huiles vertes s'emploient pour la fabrication du gaz riche et les huiles de graissage ont des débouchés assez étendus. Il ne faut pas se dissimuler d'ailleurs que l'industrie du schiste fournit une partie absolument minime dans la consommation du pays, de 1,5 à 2 °/₀.

Élimination du soufre des produits sidérurgiques par M. Lodin, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur à l'École nationale supérieur des Mines.

L'auteur étudie les procédés d'élimination du soufre dans la fonte et le fer; on avait observé depuis longtemps que le soufre exerçait sur ces métaux une influence défavorable, mais c'est à Berthier qu'on doit les premières indications précises sur les moyens à employer pour éliminer ce corps; ce savant avait même entrevu la possibilité de faire intervenir le manganèse dans ce but.

La note étudie successivement : l'élimination du soufre contenu dans les charges par les gaz du haut fourneau, son élimination par les laitiers, la désulfuration au cubilot et l'élimination du soufre au cours de l'affinage des fontes; cette dernière est, en général, insignifiante.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 13. — *31 mars 1906.*

Histoire du développement des machines-outils, par H. Fischer.

Développement technique et commercial des locomobiles de R. Wolf, par K. Heilmann *(fin)*.

Expériences sur la résistance à la torsion des corps à section triangulaire ou trapézoïdale, par C. Bach.

Les vapeurs *Queda* et *Wellington* construits par William Doxford et fils à Sunderland, par W. Kaemmerer.

Expériences sur la protection des installations électriques contre la foudre, par H. Hoffmann *(fin)*.

Album des profils de fers de l'usine de Differdange, dans le Luxembourg.

Groupe de Hanovre. — Machines d'extraction électriques.

Groupe du Rhin moyen. — Progrès dans la construction des soupapes d'arrêt des canalisations de vapeur et leur influence sur la prévention des accidents.

Groupe de Westphalie. — Machines d'extraction électriques.

Bibliographie. — Grues et ascenseurs électriques, par A. Herzog. — Régularisation électrique de la marche des turbines, par W. Bauersfeld.

Revue. — Wagon pour le nivellement du sol et la confection des talus de chemins de fer. — Bac avec moteur à combustion interne. — Production de minerais de fer dans la région des Grands-Lacs, aux États-Unis.

N° 14. — *7 avril 1906.*

Drague marine *Fedorsolodoff* avec tuyau suceur et conduite de refoulement flottante, par A. von Overlecke.

Locomotives à moteurs à explosion, par Kramer.

Le Codice atlantico de Léonard de Vinci, par Th. Beck.

Les gazogènes dans l'industrie du ciment, par C. Naske.

Tension dans les plateaux d'épaisseur variable animés d'un mouvement de rotation rapide, par M. Grübler.

Conséquence simple de la formule du choc d'Euler, par Hollender.

Groupe de Dresde. — Expériences sur l'envasement de l'entrée du port de Brunsbuttel (Canal de l'empereur Guillaume).

Groupe de Hanovre. — La benzine et sa manipulation. — Les plongeurs, leur outillage et leur emploi dans les travaux de fondation et travaux analogues.

Bibliographie. — Manuel de la technologie chimique de l'énergie, par H. von Juptner. — La chaudière à vapeur, par O. Herre.

Revue. — Emploi de la résistance du fer dans les essais. — Amorçage des pompes centrifuges. — Dock flottant de Tsingtau. — Traction électrique sur le chemin de fer de Long-Island. — Les installations d'électricité dans la Grande-Bretagne.

N° 15. — *14 avril 1906.*

Ordre du jour de la 47e réunion générale de l'Association des Ingénieurs allemands à Berlin en 1906 et fête du cinquantenaire de sa fondation.

Nouvelles locomotives allemandes à grande vitesse, par M. Richter.

Le Codice atlantico de Léonard de Vinci, par Th. Beck *(suite)*.

Progrès dans la fabrication des machines-outils en Allemagne, par Fr. Ruppert *(suite)*.

Installation et fonctionnement des machines dans les stations centrales d'électricité, par K. Wertenson.

Théorie et calcul des turbines et pompes centrifuges, par Kobes.

Groupe de Cologne. — Les moyens de transport dans l'État du Congo.

Groupe de Mannheim. — Diverses méthodes de sondage.

Groupe du Rheingau. — Production de l'oxygène et de l'azote au moyen de l'air liquide.

Groupe de Siegen. — Impressions de voyage sur les ateliers de construction des États-Unis.

Groupe du Wurtemberg. — Les musées industriels autrefois et aujourd'hui. — Nouvelles installations d'extraction de houillères.

Revue. — Installation d'épuisement à vapeur du polder de Wehlgust-Damerow. — Installations électriques des nouveaux paquebots Cunard. — Chemin de fer électrique à grande vitesse de Cologne à Dusseldorf. — Développement des chemins de fer électriques aux États-Unis.

N° 16. — *21 avril 1906.*

Expériences sur les relations entre la résistance de l'air et la forme des corps, par A. Frank.

Nouvelles locomotives allemandes à grande vitesse, par M. Richter *(fin)*.

Progrès dans la fabrication des machines-outils en Allemagne, par Fr. Ruppert *(suite)*.

Groupe de Berlin. — Établissement d'une caisse de pension à l'Association des Ingénieurs allemands.

Exposition internationale de Milan en 1905, par W. Gentsch.

Revue. — Aciérie Talbot, de la C^ie^ Jones et Laughlin, à Pittsburg. — Le développement du matériel de chemins de fer depuis vingt-cinq ans. — Chemins de fer dans l'Afrique allemande du sud-ouest.

N° 17. — *28 avril 1906.*

Programme de fête pour le 50^e^ anniversaire de la fondation de l'Association des Ingénieurs allemands.

Locomotive à distribution par soupapes construite par la Société Hanovrienne, précédemment G. Egestorff, par Metzeltin.

Le Codice atlantico de Léonard de Vinci, par Th. Beck *(suite)*.

La mécanique dans ses applications à la construction des machines, par H. Lorenz.

Groupe de Berlin. — Extraction de l'oxygène et de l'azote de l'air liquide et leurs applications industrielles.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Les facteurs économiques de la production de la force motrice par la vapeur.

Groupe de Hanovre. — Dispositifs de sûreté pour les meules à émeri.

Bibliographie. — Manuel de métallurgie, par H. Wedding. — Les hélices propulsives, par A. Achenbach.

Revue. — Transporteur à courroie aux entrepôts de Wilhelminaveen à Amsterdam. — Avarie en service d'un appareil générateur d'électricité composé d'une dynamo accouplée à une turbine à vapeur. — Bassin houiller rhénan-westphalien.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Commentaire pratique et revue de jurisprudence de la loi du 9 avril 1898, par MM. Amédée MOURRAL, Conseiller à la Cour d'appel de Limoges, et BERTHIOT, Inspecteur du Travail dans l'Industrie (1).

Il est peu de lois qui aient suscité autant de commentaires que la loi du 9 avril 1898, sur la responsabilité des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail ; cela tient à ce qu'elle intéresse directement tous les industriels français, qu'elle a créé pour eux, en dérogation du droit commun, une responsabilité d'ordre nouveau, et aussi au manque de clarté et de précision d'un grand nombre de ses dispositions.

En attendant que les modifications législatives dont chacun, au lendemain même de la promulgation de la loi, reconnaissait la nécessité, et que les décisions de jurisprudence vinssent apporter à la loi de 1898 les précisions qui lui faisaient défaut, il était nécessaire d'éclairer les assujettis sur l'étendue de leur responsabilité et sur la portée de leurs obligations.

C'est ce qu'ont fait un grand nombre de commentateurs ; le répertoire bibliographique publié par la Direction de l'Assurance et de la Prévoyance Sociales au Ministère du Commerce en juin 1904 citait déjà 291 publications se rapportant à la loi sur les accidents dont 91 commentaires.

Quelques-uns de ces commentaires, tels ceux de M. le Président Sachet, et de MM. Bellom, Ingénieur au Corps des Mines, et Serre, Conseiller à la Cour de Cassation, devenus en quelque sorte classiques, sont des traités approfondis destinés plutôt aux magistrats, avocats et assureurs, qu'aux assujettis à la loi.

Le commentaire, dont MM. Amédée Mourral, Conseiller à la Cour d'appel, de Limoges et Berthiot, Inspecteur du Travail dans l'Industrie, viennent de publier une deuxième édition, est au contraire destinée moins aux juriconsultes et aux économistes qu'aux industriels et aux ouvriers ; laissant de côté les questions de théorie pure, il s'applique à indiquer, d'une façon aussi concise et aussi complète que possible, l'état des conditions d'application de la loi qui résulte du dernier état législatif et de la jurisprudence.

Dans les chapitres qu'ils ont consacrés à la définition de l'accident et au caractère qu'il doit présenter pour donner lieu à l'application de la loi, ils ont exposé en quelques pages, avec une absolue netteté, tous les problèmes si complexes que suscitent les rapports des maladies préexistantes et des états pathologiques spéciaux avec les traumatismes.

(1) In-8, 280 × 145 de XXXIX-320 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat 1906. Prix broché, 5 f.

Leurs tableaux d'évaluation du taux des incapacités permanentes d'après la médecine et la jurisprudence française, et d'après les législations étrangères, permettent de se rendre parfaitement compte de la valeur des principales lésions et seront consultés avec fruit, non seulement par les intéressés, mais aussi par les magistrats et les médecins experts.

MM. Mourral et Berthiot ont pleinement atteint leur but ; leur commentaire essentiellement pratique rendra service aux assujettis à la loi; ils y trouveront des explications de la plus grande clarté sur chacune de ses prescriptions, avec l'indication de l'interprétation que la pratique judiciaire leur a donnée.

Ph. F.

La théorie et la pratique dans les travaux publics, par Pierre Jolibois (1).

Dans cette étude M. Pierre Jolibois, conducteur des Ponts et Chaussées, met en parallèle l'instruction pratique du conducteur « instruction de premier ordre, puisqu'elle s'appuie sur une instruction théorique très suffisante », et l'instruction théorique de l'Ingénieur de l'École polytechnique « développée d'une manière irrationnelle, anormale, en vue des études scientifiques spéculatives alors qu'il doit s'adonner d'ordinaire à des études techniques pratiques. » Il en conclut que le conducteur réunit toutes les qualités et les conditions exigées pour exécuter facilement et économiquement les travaux public, tandis que l'Ingénieur d'État s'y trouve souvent dépaysé, étranger et trop savant.

A l'appui de sa thèse l'auteur produit de nombreuses citations.

IIIe SECTION

Agenda Dunod pour 1906. — Mécanique (2).

La librairie Dunod fait paraître la 28e édition de cet agenda, si apprécié des Ingénieurs et des Industriels. Cette édition a été revue par M. G. Richard, ancien Président de la IIIe Section de notre Comité. C'est dire qu'elle est tout à fait à jour.

Résistance au mouvement ; transmission de mouvement par adhérence ; résistance des matériaux, écoulement des fluides, roues hydrauliques, turbines, air comprimé, chaudières, moteurs divers, modes d'essais et analyse des diagrammes : telles sont les matières traitées.

En outre, un chapitre est consacré aux mesures anglaises usitées en mécanique, un autre à la législation et aux instructions sur les appareils à vapeur.

R. S.

(1) In-8, 215×135 de XXIV-128 p. — Paris, chez l'auteur, 1905, prix broché 2 f.

(2) In-16, 150×95 de VI-195 — LXIV p. — Paris, H. Dunod et E. Pinat. Prix relié 2,50 f.

Agenda Dunod pour 1906. — Usines et Manufactures (1).

La 5e édition de cet agenda donne des renseignements et des indications générales très judicieuses sur l'établissement d'une usine, sur le coût moyen des différents générateurs et moteurs, des transports de force et transmission de mouvement, des machines-outils, de l'alimentation d'eau, etc. Un chapitre est consacré aux mesures à prendre contre l'incendie, un autre à la législation industrielle.

Cet opuscule est à la fois un memento et un guide fort utiles.

R. S.

IVe SECTION

Industrie aurifère, par M. David Levat (2).

Notre distingué collègue. M. David Levat, vient de produire là encore un travail très étendu qui ne comprend pas moins de 920 pages, illustré de 253 figures et planches.

L'industrie aurifère est une des plus importantes du monde. Si elle n'apparait pas toujours ainsi aux yeux des Européens, cela tient à ce que l'Europe a vu, depuis les temps historiques, épuiser la majeure partie des mines de métaux précieux dont la nature avait doté notre continent.

Celui-ci et, par conséquent, les mines aurifères de l'Europe, ne peuvent plus, par suite de ce degré d'épuisement nécessaire, avoir la même importance que celles des contrées nouvelles, ouvertes depuis quelques siècles à peine à l'activité des races humaines qui consomment des métaux précieux.

La littérature étrangère et américaine surtout est très nourrie d'ouvrages sur la matière. En France, le Traité de E. Cumenge et E. Fuchs, paru il y a déjà une vingtaine d'années fait encore autorité; il a décrit tous les principaux progrés réalisés dans l'industrie aurifère à notre époque.

Depuis, de nouveaux perfectionnements ont été accomplis dans la métallurgie de l'or. qui ne pouvaient être décrits que par un voyageur comme M. Levat, qui a visité beaucoup de centres aurifères, L'auteur s'est surtout préoccupé, dans son livre, de vulgariser, pour notre public dont l'éducation entière reste à faire sur la question, et de mettre à jour, pour ses lecteurs techniques, les notions les plus complètes sur l'industrie aurifère.

C'était là une œuvre bien nécessaire parce que, si les Français emploient des capitaux considérables en placements de mines d'or, ils ne se préoccupent que très imparfaitement, le plus souvent pas du tout, des conditions de sécurité dans laquelle ils abandonnent trop aisément leur épargne.

(1) In-16, 150×95 de VI-265 — LXIV p. — Paris, H. Dunod et E. Pinat. Prix relié 2,50 f.

(2) In-8°, 255 × 165 de XVI-899 pages avec 253 figures et 6 planches. — Paris, Vve Ch. Dunod, 1906; prix broché, 30 francs.

L'ouvrage débute par une introduction sur la production aurifère, ses causes et ses caractéristiques, elle rappelle aussi les questions doctrinales, les propriétés physiques et chimiques de l'or ses méthodes d'essais.

Puis, l'auteur entre dans son sujet, qui comprend trois parties : la première traitant de l'extraction de l'or de ses minerais, et en particulier des alluvions aurifères; la seconde partie s'occupe des filons; la troisième donne des monographies d'installations types.

L'auteur parcouru de nombreuses exploitations alluvionnaires en Sibérie et en Guyane, et il parle avec beaucoup de détails des alluvions aurifères sur lesquelles il a déjà écrit d'importantes monographies. Dans une série de chapitres, il définit les alluvions, leurs méthodes d'exploitation, les sluices, les méthodes de lavage, la prospection et le cubage des placers, les recherches en pays tropicaux et dans les forêts, les sondages par dragages, les lavoirs mobiles et fixes, et enfin les dragues dont il s'est spécialement occupé. Il parle de ces alluvions et des méthodes employées dans l'Oural, dans la Sibérie Occidentale et la Léna. il décrit la méthode hydraulique et les élévateurs hydrauliques employés dans l'Amérique du Nord. dans l'Alaska, le Yutkon et le Klondike.

Dans la deuxième partie relative aux filons, il indique ce qu'est un moulin de prospection, le traitement des quartz aurifères à or libre ou amalgamable, le broyage, les concasseurs, les appareils de broyage par choc, les bocards, les appareils d'amalgamation, les appareils de broyage par écrasement, meules, cylindres moulins à boulets, Huntington.

Un chapitre spécial a été réservé aux nouveaux appareils dits tubes Davidsen, dont l'introduction dans les usines à or permet d'augmenter sensiblement ce rendement. L'auteur en a fait l'étude au moyen d'instantanés photographiques pris en cours de fonctionnement et qui constituent des documents originaux et précis pour l'application de ces appareils aux usines existantes.

Il décrit ensuite les appareils de concentration, les concentrateurs Frue, Embrey, Wilefley, etc... les Round Bunddles et les tables tournantes (de Linkenbach, Humboldt et de Lenicque), enfin les classificateurs.

Le traitement des minerais réfractaires, ou non amalgamables, fait l'objet d'un chapitre important, où il est traité de la chloruration et de ses nombreuses variantes (procédés Mœars, Thiess, Munktell, Newbery-Vautin, etc.), puis de la cyanuration, et de l'emploi de cette méthode au Transvaal. en Amérique, en Australie; enfin sont décrites les méthodes électrolytiques (procédés Siemens et Halske. Pelatan-Clerici, etc.); et les méthodes de traitement par fusion directe des concentrés de minerais exceptionnels.

Parmi les installations types, décrites dans la troisième partie, figurent les mines de Treadwell (Alaska), les ateliers de cyanuration du Homestake et Maitland, au Dakota, la mine de Camp-Bird, au Colorado; la chloruration dans la Caroline du Sud, à Cripple Creek

(Colorado); la décantation à la mine de Crown Reef (Transvaal); le grilage et le broyage à Kalgoorlie (Australie); à Rauraki (Nouvelle-Zélande); la bromo-cyanuration à la mine Hannan's Star.

L'ouvrage se termine par une revue de la production mondiale de l'or en 1904, et de celle des principaux pays du monde, ainsi que des conditions générales de l'industrie aurifère.

J.-M. Bel.

Loi minière du Japon (1).

Cette loi a été promulguée le 7 mars 1905.

Dans ses dispositions elle définit, sous le nom de *minerais*, ceux d'or, d'argent, de cuivre, de plomb, de bismuth, d'étain, d'antimoine, de mercure, de zinc, de fer, de pyrite de fer, de fer chromé, de manganèse, de tungstène, de molybdène, d'arsenic, de phosphate, d'asphalte, de graphite, de houille, de lignite, de pétrole et de soufre.

Ne sont pas compris sous la désignation de minerais les terres minérales, sédimentaires ou d'alluvion, et tous les minéraux non dénommés dans la présente loi, ainsi que les haldes et déblais qui sont propriété de l'État.

Personne autre que les sujets japonais ou les Sociétés constituées d'après les lois japonaises ne peut acquérir de *droits miniers*, c'est-à-dire des droits de recherches et des droits d'exploitation de mines.

Le bornage des concessions minières est déterminé par des lignes droites, qui sont les mêmes que celles du bornage de la surface, prolongées verticalement.

L'étendue d'une concession minière peut être de 17 ha au moins pour le charbon et 1 ha,7 au moins pour les autres substances, sans pouvoir exéder 340 ha, sauf dans certains cas spéciaux.

Les droits miniers sont sujets à hypothèque et les dispositions relatives aux immeubles leur sont applicables.

La durée d'un permis de recherches est de deux années et pour assurer sa validité les travaux devront être exécutés avant le délai d'un an. On ne peut disposer du produit des recherches qu'avec l'autorisation du chef du bureau de l'Inspection des Mines.

Les droits des propriétaires fonciers sont sauvegardés par l'obligation du paiement d'une indemnité, pour les dommages résultant des travaux des mines, ou bien par l'obligation imposée aux mineurs d'acheter le terrain auxdits propriétaires, qui doivent laisser effectuer les travaux.

Ces mêmes dispositions s'appliquent aux droits d'eau.

La police des mines est placée sous l'autorisation du Ministre de l'Agriculture et du Commerce et celle du chef du bureau de Contrôle des mines; elle porte sur la conservation de l'ordre public dans les chantiers et les mines, sur la protection de la santé et du bien-être publics, ainsi que sur les précautions à prendre au sujet des dangers de toute sorte.

(1) Extrait du *The Japan Daily Mail*, du 29 mars 1905, communiqué par M. D. Becker, membre correspondant de la Société au Japon.

Il doit être tenu dans chaque mine un registre du personnel ouvrier; les jours de paie doivent être fixés au préalable ; le Ministre pourra limiter l'âge et la durée du travail des ouvriers mineurs et le genre de travail des femmes et des enfants. Les exploitants doivent donner assistance aux ouvriers blessés ou morts au service, ainsi qu'à leurs parents survivants.

Les mines d'or, d'argent, de plomb, de fer, sont libres de toute taxe sur la production; les exploitants de mines sont exonérés de tout impôt commercial.

La taxe superficiaire annuelle par hectare est de 0,48 f pour les permis de recherches et de 59,26 f pour les concessions d'exploitation.

La taxe sur la production d'une mine qui n'est pas affranchie d'impôt est de 7 0/0 de la valeur produite.

Les préfectures et centres habités peuvent mettre une taxe minière additionnelle à condition que celle-ci n'excède pas 10 0/0 de la taxe principale. Ladite loi traite en outre de la procédure administrative pour les demandes en permis de recherches ou en concession qui n'auraient pas reçu satisfaction. Elle édicte aussi des dispositions pénales pour les infractions à ladite loi. Enfin, elle renferme des dispositions supplémentaires abolissant la législation antérieure et définissant les mesures transitoires.

J.-M. Bel.

Agenda Dunod pour 1906. — Mines et Métallurgie, par D. Levat, Ingénieur des Mines (1).

Cet aide-mémoire d'un format commode, et renfermant un cahier de pages blanches pour l'année courante, contient de nombreuses données numériques, accompagnant un exposé clair et succinct des diverses questions intéressant le mineur et le métallurgiste. Une annexe contient les principales lois relatives à l'industrie minière, ainsi que des tables et formules usuelles de mathématiques et de physique. La nouvelle édition de 1906 contient en particulier des renseignements nouveaux sur l'exétion des sondages et des recherches.

G. B.

Ve SECTION.

Chimie. — Agenda Dunod 1906, par Emile Javet (2).

Cet élégant petit agenda, à l'usage des chimistes, ingénieurs, industriels, professeurs, pharmaciens, directeurs et contremaitres d'usines, en est à sa vingt-huitième édition. Son éloge n'est donc plus à faire. Il

(1) In-16, 150 × 95 de X-280 — LXIV p. (Agenda Dunod). — Paris, H. Dunod et E. Pinat. Prix relié 2,50 f.

(2) In-16, 150 × 95 de XXI-360-LXIV p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906, prix relié 2,50 f.

condense avec clarté tous les documents de chimie que l'on a besoin d'avoir constamment sous la main. L'auteur l'a mis à jour des récentes découvertes de la chimie et il l'a complété par des renseignements géométriques et commerciaux d'un usage journalier. E. B.

Tables des intérêts composés. Annuités et amortissements, par M. A. Arnaudeau (1).

Les nouvelles tables d'intérêt composé, calculées par M. Arnaudeau, fournissent, pour 65 taux d'intérêt différents, les données suivantes : la valeur de 1 fr. placé à intérêts composés après un certain nombre d'années ou de mois; la valeur actuelle de 1 fr. payable après un certain nombre d'années ; la valeur actuelle d'un certain nombre d'annuités de 1 fr. payables à la fin de chaque année; l'annuité par laquelle on peut amortir un capital de 1 fr. au bout d'un certain nombre d'années.

Ces tables sont donc de nature à rendre les mêmes services que les tables existantes ; mais elles présentent, en outre, une particularité sur laquelle nous appelons l'attention à cause de son importance pratique. L'auteur, au lieu de conserver la graduation traditionnelle des taux d'intérêt par 1/4, 1/8 ou 1/16 0/0 (suivant le caractère plus ou moins usuel des taux considérés), a adopté un intervalle uniforme de 1/10 0/0 pour toute l'échelle des taux. Il résulte de cette uniformité dans les intervalles que l'interpolation, c'est-à-dire la détermination d'un résultat correspondant à un taux non mentionné dans les tables, se trouve grandement facilité et qu'on peut appliquer à cet effet la formule de Newton, en utilisant un ordre de différences en rapport avec l'approximation que l'on désire obtenir.

C'est là un sérieux avantage de ces tables nouvelles.

Fr. Clerc.

La grande industrie tinctoriale, par M. Francis C. Beltzer, ingénieur-chimiste (2).

Ce traité est un ouvrage pratique, réunissant dans un cadre relativement restreint les principales méthodes employées par l'industrie tinctoriale pour le traitement des textiles. Mais comme les méthodes rationnelles de teintures sont liées intimement aux propriétés générales des matières colorantes, l'auteur a pris soin de faire précéder chaque traitement industriel d'une étude spéciale des couleurs appropriées.

Cet exposé théorique précédant l'examen des matières premières depuis leur arrivée dans l'usine jusqu'à leur transformation définitive, permet de suivre avec lucidité la description des manipulations industrielles, celle des principaux appareils et le fonctionnement des machines les

(1) In-8°, 280 × 190 de XI-15-125 p. Paris, Gauthier-Villars, 1906. Prix : broché, 10 francs.

(2) In-8°, 255 × 165 de XXIV — 1 050 p. avec 99 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. Prix, broché, 30 francs.

plus récentes avec tous les derniers perfectionnements de l'industrie tinctoriale.

M. Beltzer a tenu, enfin, à mettre ses lecteurs au courant des derniers procédés de préparation de la soie artificielle, en donnant à cette branche encore peu connue, des développements inédits et intéressants.

C.

VI[e] SECTION.

Les procédés de commande à distance au moyen de l'électricité, par M. Régis Frilley (1).

Ce nouveau livre des « actualités scientifiques » de la maison Gauthier-Villars, comprend les procédés de commande à distance par l'électricité.

La souplesse vraiment merveilleuse de l'électricité secondée par les appareils précis que les progrès de la construction mettent à la disposition des praticiens, rendent l'application de ces procédés des plus avantageuses dans les cas les plus variés de plus en plus nombreux. M. le capitaine Frilley a tenu, semble-t-il, à envisager tous les plus importants procédés de commande, à tel point qu'un chapitre est consacré aux appareils basés sur l'emploi encore bien nouveau des ondes hertziennes.

On comprend que, dans ces conditions, l'auteur n'a pu s'étendre outre mesure sur les détails d'exécution, mais les schémas présentés suffisent pour la compréhension nette des explications fournies.

Les praticiens feront bien de lire, à l'occasion, ce très bon résumé, avant de faire choix du système à adopter suivant les cas. E. D.

Sur les Électrons. — Conférence du 5 novembre 1902, par sir Olivier Lodge FRS; MM. E. Nugens et Peridier, traducteurs; préface de M. P. Langevin (2).

Ce livre des « actualités scientifiques » de la maison Gauthier-Villars arrive à son heure.

Il complète sur certains points et dans une note originale et pleine de saveur, les publications parallèles de la Société de Physique concernant cette question passionnante des « Ions, Electrons et Corpuscules ».

Le lecteur y trouvera l'exposé des vues prophétiques de Faraday en 1816, des idées de Crookes en 1880 et de celles de Maxwell.

Il pourra apprécier une série de remarques des plus intéressantes sur les travaux des savants qui, depuis Plucker et Hettorf, se sont occupés de ces questions et notamment sur ceux de Aitken (vésicules des nuages) et de J. J. Thomson (sur les noyaux électriques).

(1) In-16, 190×120 de VII-190 p. avec 94 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1906. Prix, broché, 3 fr. 50.

(2) In-16, 190×120 de XIII-168 p. avec 6 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1906. Prix, broché, 2 fr. 75.

La préface de M. Langevin n'est pas elle-même sans présenter un véritable intérêt au point de vue scientifique. Elle constitue, en effet, un résumé des plus heureux sur l'évolution fort suggestive des idées de sir Olivier Lodge depuis ses dernières publications sur l'électricité (théories nouvelles, édition 1896).

E. D.

Ions, Électrons, Corpuscules, par MM. Abraham et Langevin. Collection des mémoires publiés par la Société Française de Physique (1).

Cet ouvrage constitue la seconde série de publications, concernant les mémoires relatifs à la physique, entreprises par la Société française de Physique, avec une opportunité et un esprit de suite qui lui font grand honneur.

Il est dédié par les auteurs, MM. les professeurs Henri Abraham et Paul Langevin, comme un dernier hommage à la mémoire de notre regretté maître, M. A. Potier, qui avait accepté avec son amabilité habituelle, d'en diriger la publication, grâce à sa haute autorité.

Nous nous associons pleinement à cet hommage. Mais on ne saurait trop remercier les auteurs et les membres de cette Société qui ont bien voulu se dévouer à la recherche, à l'étude, au choix, à la coordination et à la publication des séries de mémoires magistraux contenus dans ces deux volumes.

La collection des trois volumes sur les mémoires et travaux du Congrès de 1900, si rapidement publiés dès 1901, avait constitué un véritable monument scientifique révélant à beaucoup d'entre nous l'état de la science physique à cette époque.

L'étape parcourue semblait présager un temps de repos. Et cependant l'ouvrage actuel en constitue déjà une sorte de complément fortement documenté, et cela pour un seul chapitre, basé d'abord sur la notion de structure discontinue des charges électriques. A peine ébauché, semblait-il en 1900, bien qu'il eut pris en fait un développement considérable sinon capital, il est maintenant désigné sous le nom de « Ions, Electrons et Corpuscules ».

En réalité ces mémoires constituent « un livre de références », suivant la juste expression des auteurs, se rapportant aux travaux divers entrepris dans les divers pays au sujet :

1° Des phénomènes cathodiques dont Faraday dès 1816, puis Crookes en 1880, furent les premiers révélateurs ;

2° Des phénomènes de radioactivité en général, où se signalent, entre autres, d'une part notre regretté compatriote M. Curie et d'autre part M. Becquerel.

3° Des phénomènes de condensations dans les brouillards et les vapeurs ;

(1) In-8°, 250 × 160 de XVI-1 138 p. Paris, Gauthier-Villars, 1905. Prix : broché, 35 francs.

4° Des phénomènes produits par la lumière ultra-violette ;

5° Des phénomènes d'ionisation, particulièrement de gaz, à la suite des remarques atomiques de Helnoltz, des expériences de Giese en 1882 et de Schuster en 1890;

6° Des théories électroniques en général.

L'ensemble forme une sorte de « dictionnaire », suivant les auteurs, en réalité une source de renseignements véritablement de premier ordre pour l'examen des théories si brillantes sur ces questions, qui se font jour en ce moment et semblent même dominer la science.

Il était vraiment nécessaire que tous ces mémoires et toutes ces études épars dans les ouvrages du monde entier, fussent présentés au public scientifique français en sa langue par des traducteurs impeccables.

Nous devons remercier vivement MM. H. Abraham et P. Langevin de leur dévouement et de leur consciencieux labeur, ainsi que M. Gauthier-Villars pour les soins qu'il a apportés en vue de la netteté et de l'élégance du texte.

E. D.

Derniers progrès de Telphérage électrique, par E. Guarini, Professeur à l'École d'Ingénieurs de Lima (Pérou) (1).

Le telphérage électrique est l'utilisation de l'électricité au transport des matériaux par voie aérienne constituée par un câble ou des longrines d'acier. Peu employé en Europe, il a pris une grande extension aux États-Unis. L'auteur a fait œuvre utile en signalant les derniers progrès de ce procédé économique de transport, qui permettra au Pérou d'exploiter ses richesses minières et agricoles.

P. S.

(1) In-8, 240 × 155 de 27 p. avec illust. Paris, V^e^ Ch. Dunod, prix broché, 2 f.

Le Secrétaire Administratif, Gérant.

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 10250-6-06. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

MAI 1906

N° 5.

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de mai 1906, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

Revenue Report of the Government of Bengal. Public Works Department, Irrigation Branch, for the year 1904-1905 (in-4°, 330 × 210 de 97 p.). Calcutta, Printed at the Bengal Secretariat Press, 1906. 44415

ROCQUES (X.), BROUARDEL (P.) et MUNTZ (A.). — *Les industries de la Conservation des aliments*, par X. Rocques. Préfaces, par P. Brouardel et A. Muntz (Bibliothèque technologique) (in-8°, 220 × 135 de XI-506 p. avec 114 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1906. (Don de l'éditeur). 44403

Chemins de fer et Tramways.

Bulletin du Congrès international des chemins de fer. Tables générales du 1er janvier 1887 au 31 décembre 1905. (Annexe au N° 5, Mai 1906 du Bulletin) (in-8°, 240 × 185 de I-134 p. ; II-26 p. ; III-44 p. ; IV-70 p.). Bruxelles, P. Weissenbruch, 1906. 44421

Construction des Machines.

Annual Report of the Chief of the Bureau of Steam Engineering, Navy Department 1905 (in-8°, 230 × 145 de 60 p.). Washington, Government Printing Office, 1905. 44402

Compte-rendu des seances du 29e Congrès des Ingénieurs en Chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur tenu à Paris en 1905 (in-8°, 255 × 165 de 304 p.). Paris, Imprimerie E. Capiomont et Cie. (Don de M. Ch. Compère, M. de la S.). 44405

Économie politique et sociale.

Carliez (J.). — *Les comptoirs de vente en commun*, par J. Carliez (in-8°, 225 × 140 de v-223 p.). Nevers, Mazeron frères, 1905 (Don de l'auteur, M. de la S.). 44412

Oesterreichisch-Ungarische Handelskammer in Paris (Chambre de commerce austro-hongroise de Paris), *Rechenschafts-Bericht 1905* (in-8°, 240 × 155 de 71 p.). Paris, Imprimerie nouvelle 1906. 44407

Électricité.

Goldsborough (W.-E.) et Vorges (H. de). — *Distribution par courants alternatifs*, par W.-E. Goldsborough. Traduit de l'anglais, par Henri de Vorges (in-8°, 250 × 165 de 248 p. avec 171 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs). 44419

Niethammer (Dr F.). — *Moteurs à collecteur à courants alternatifs*, par le Dr F. Niethammer (in-8°, 250 × 165 de 132 p. avec 131 fig.). Paris, L'Éclairage électrique, 1906. (Don de l'éditeur). 44417

Législation.

Annuaire et Statuts de la Société centrale des Architectes Français. Annuaire de la Caisse de défense mutuelle des Architectes. 1906 (in-8°, 240 × 160 de 115-8 pages). Paris, Siège de la Société. 44409

Société Belge des Ingénieurs et des Industriels. Liste des Membres. Année 1906 (in-8°, 190 × 120 de 90 p.). Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1906. 44413

Métallurgie et Mines.

Colomer (F.). — *Exploitation des Mines*, par Félix Colomer. Seconde édition revue et augmentée (Bibliothèque du Conducteur de Travaux-publics) (in-16, 185 × 125 de VIII-343 p. avec 175 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs). 44410

François (J.). — *Considérations sur l'emploi de l'air comprimé pour actionner les machines d'épuisement souterraines*, par Joseph François (in-8°, 250 × 160 de 12 p. avec 1 fig.). Liège, Aug. Bénard, 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44420

François (J.). — *Quelques considerations sur les compresseurs d'air*, par Joseph François (Congrès international des mines, de la métallurgie, de la mécanique et de la géologie appliquées. Liège 25 juin-1er juillet 1905. Section de mécanique) (in-8°, 250 × 160 de 12 p. 2 fig. 1 phot. et 2 pl.). Liège, Imprimerie La Meuse, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44421

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

China, Imperial Maritime Customs. III Miscellaneous Series N° 6. List of the Lighthouses, Light-Vessels, Buoys, and Beacons on the Coast and Rivers of China for 1906 (Corrected to 1st December 1905) Thirty-Fourth Issue. Published by order of the Inspector General of Customs (in-4°, 275 × 215 de 62 p. avec 10 cartes). Shanghai, 1906. 44406

Société anonyme du Canal et des Installations maritimes de Bruxelles. Neuvième exercice social. Année 1905. Rapport présenté par le Conseil d'administration à l'assemblée générale du 12 Mai 1906 (in-4°, 305 × 235 de 51 p. avec 3 diagrammes. Bruxelles, Imprimerie Xavier Havermans, 1906. 44416

Wallace (J.-F.). — *Some Phases of the Panama Problem.* Address by John Findley Wallace. Before the Illinois Manufacturers' Association (in-8°, 230 × 150 de 21 p.). Chicago, March 2, 1906. (Don de l'auteur). 44411

Sciences mathématiques.

Ruff (F.). — *Auskunfstbuch für Statische Berechnungen der Maschinen (Schnellstatiker)*, Von Franz Ruff. *Band. II* (in-8°, 190 × 125 de 110 p. avec 110 fig. et 2 pl.). Frankfurt A. M., 1906. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44424

Ruff (F.). — *Reference Book for Statical calculations (Rapid Statics)* by Francis Ruff. *Vol. I* (in-8°, 190 × 125 de 136 p. avec 147 fig. et 4 pl.). London, E. and F.-N. Spon, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.). 44425

Technologie générale.

Annual Baudry de Saunier, 1906 (in-8°, 225 × 150 de XXXII-750 p. avec figures). Paris, Hubert Baudry. (Don de l'auteur). 44423

Deinhardt (K.) et Schlomann (A.). Stülpnagel (P.). — *Dictionnaire technologique illustré en six langues : Français, Italien, Espagnol, Allemand, Anglais, Russe.* Rédigé d'après une méthode spéciale, par K. Deinhardt et A. Schlomann. *Premier volume, par Stülpnagel. Les éléments des machines et les outils les plus usités pour travailler le bois et les métaux* (in-16, 175 × 105 de 403 p. avec 823 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs). 44404

HALLER (Ch.). — *Notes et Mémoires techniques et scientifiques*, par Charles Haller (Extraits des Bulletins de la Société des anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers, revus, corrigés et augmentés) (in-8°, 220 × 135 de 129 p. avec fig. et pl.). Paris, J. Loubat et Cie. (Don de l'éditeur, M. de la S.) 44408

Société Belge des Ingenieurs et des Industriels. Rapport annuel. Exercice 1904-1905 (in-8°, 240 × 155 de 60 p.). Bruxelles, L'Imprimerie nouvelle, 1906. 44414

The John Crerar Library. Eleventh Annual Report for the year 1905 (in-8°, 225 × 140 de 57 p.). Chicago, Printed by order of the Board of Directors, 1906. 44418

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de mai 1906 sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

E. Aubry,	présenté par MM.	Hillairet, C. Bourdon, E. Bourdon.
E.-F. Declercq,	—	Hug, Jolibois, Loubat.
P.-A. Faraud,	—	Hillairet, Groselier, G. Blanc.
T.-A.-J. Guéritte,	—	Boury, Carlier, Guillet.
A. Hollard,	—	Guillet, Schœller, Vesier.
R.-M.-P. Jourdain,	—	Dumont, Ch. Bourdon, Rabinel.
Ch.-P. Lemale,	—	R. Armengaud, Barbezat, Cohendet.
P. Loiseleur,	—	Deroualle, Marion, Gugenheim.
W.-Ch.-R. Meyer,	—	Danloux-Dumesnil, Guillet, Raty.
P.-H. Robinet,	—	Lacaze, Paré, A. Robinet.

Comme Membre Sociétaire Assistant, M. :

M. Bechet, présenté par MM. Bidermann, J.-A. Dupont, Ed. Lambert.

Comme Membres Associés, MM. :

M. Maschkauzan,	présenté par MM.	Mallet, Zbyszewski, de Dax.
M.-V. Laval	—	Burgart, Clerc, Jourdan.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MAI 1906

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 4 MAI 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de :

MM. P. Morice. Membre de la Société depuis 1853, Chevalier de la Légion d'Honneur. Ingénieur honoraire du service de la voie, au Chemin de fer du Nord ;

L. Bécourt, Membre de la Société depuis 1903, Professeur de dessin géométrique et industriel au Lycée Saint-Louis et à l'École Municipale J.-B. Say ;

M. M. Farjasse, Membre de la Société depuis 1890, Ingénieur Civil.

M. LE PRÉSIDENT adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. G. MARIÉ a la parole pour sa communication sur les *Grandes vitesses des Chemins de fer, les Oscillations du Matériel, et la Voie*

Conclusions du mémoire de novembre. — M. Marié rappelle ses conclusions, relatives aux oscillations qui se produisent à l'entrée en courbe et à la sortie, quand la voie n'a pas de raccordements paraboliques ; il rappelle qu'il a étudié :

1° Des oscillations de roulis, autour d'un axe parallèle à la voie et passant par le centre d'oscillations ;

2° Des oscillations de lacet dues au choc du boudin d'avant sur le rail à l'entrée en courbe où à la sortie.

Influence relative des deux oscillations. — M. Marié montrera dans son mémoire que ce sont les premières qui sont prépondérantes, aux grandes

vitesses et avec de grands rayons de la voie ; les deuxièmes sont cependant utiles à connaître pour calculer les éléments de l'appareil de rappel latéral.

Applications numériques. — Après avoir fait diverses remarques sur ses formules, il donne un tableau des applications numériques, dans la pratique ; ce tableau figurera dans le mémoire *in-extenso*.

Soulèvement des roues. — Puis il montre que diverses actions comme celle de l'inertie de la roue et autres ne pourraient servir à empêcher le déraillement, si les oscillations de roulis ci-dessus étaient exagérées.

Variation du rayon de courbure de la voie. — M. Marié passe à l'étude d'un défaut de la voie, celui des variations anormales des rayons de courbure par suite de ripages lents dus à des efforts latéraux du matériel ou à d'autres causes. Bien que ce défaut soit extrêmement rare, il convient de l'examiner. M. Marié montre que ses formules s'appliquent à ce cas, en remplaçant la force centrifuge Φ par la différence des forces centrifuges correspondant aux rayons des deux courbes voisines.

Répétition des variations de rayons de courbure. — Une variation de ce genre n'est pas dangereuse, si elle est isolée ; mais plusieurs oscillations de ce genre répétées, en synchronisme avec la durée naturelle d'oscillation de roulis de la caisse du véhicule, peuvent, dans certains cas très rares, entrainer des déraillements. M. Marié donne les conditions que doivent remplir les frottements des lames de ressorts et autres pour éviter un tel accident.

Superposition des oscillations répétées. — M. Marié signale le danger de la superposition de ces oscillations répétées de roulis avec les oscillations verticales répétées qu'il a étudié dans les *Annales des Mines ;* ces dernières sont dues aux dénivellations périodiques de la voie au voisinage des joints de rails.

Les frottements doivent suffire pour amortir ces deux natures d'oscillations associées, dans les cas les plus défavorables ; sinon un accident est à redouter. Il peut même y avoir association avec d'autres oscillations qu'il étudiera. Dans l'immense majorité des cas les frottements suffisent en pratique, avec les vitesses actuelles. Mais les oscillations dues aux défauts horizontaux de la voie croissent comme le carré de la vitesse ; il en résulte que, quand on augmentera les vitesses, il faudra bien se figurer que ces frottements sont une condition de sécurité ; il conviendra de leur donner la valeur voulue, ce qui est facile d'après les calculs de M. Marié.

Déraillements. — Le boudin ou mentonnet du bandage tend à monter sur le rail quand le rapport de l'effort F à la charge P dépasse une certaine limite.

M. Marié rappelle une formule de M. Pochet et de M. Nadal, pour le cas d'un essieu sans bogie. Puis il donne une nouvelle formule pour le cas du bogie et montre que, dans ce cas, la tendance au déraillement est bien moindre.

Influence des attelages. — S'ils sont bien serrés, ils contrarient les oscillations les unes par les autres ; avec quelques perfectionnements de ces attelages, il est probable qu'on pourra employer le matériel actuel, sans bogie, avec menottes à anneaux, pour des vitesses bien supérieures aux vitesses actuelles ; le matériel à bogie de son côté conviendra parfaitement.

Vérifications expérimentales. — M. Marié signale des expériences qui sont d'accord avec ses formules et en constituent une vérification importante.

Surveillance de la voie. — M. Marié insiste sur l'intérêt qu'il y aura à surveiller la voie, dans la pratique, avec les remarquables wagons d'expérience du Nord et de l'Ouest, basés sur l'emploi du pendule d'inertie de M. Sabouret et de l'enregistreur Marey ; la Compagnie du Nord a mis cette surveillance en pratique depuis plusieurs années.

Automobiles. — Il fait remarquer que ses formules s'appliquent aux automobiles, avec cette différence que la réaction du rail est remplacée par l'adhérence de la route avec ou sans dérapage ; il montre que le dérapage peut empêcher la voiture de verser, si le centre de gravité n'est pas trop élevé, même si le dérapage n'élargit pas la trace du pneumatique sur la route d'une façon bien visible.

Conclusions. — M. Marié résume ses conclusions en montrant qu'elles ont un caractère optimiste ; on en trouvera le détail dans le mémoire *in-extenso*.

M. le Président remercie M. Marié de la communication de son important travail et en rappelle les points principaux tels que l'évaluation de la valeur des réactions de guidage des rails, l'étude de la résonance et de l'amortissement des phénomènes pendulaires dont le véhicule suspendu est le siège.

M. le Président signale le cas de régulateurs à force centrifuge, où des ressorts à boudin, substitués à des ressorts à lames étagées, peuvent donner lieu à des phénomènes de résonance par suite de la suppression du frottement amortisseur des lames.

On doit tenir compte de cette condition, dans une certaine mesure, quand on suspend un véhicule sur des ressorts à boudin.

M. A. Herdner a la parole pour sa communication sur *les Locomotives à l'Exposition de Liège* (Première partie).

M. Herdner dit qu'il n'a pas l'intention de décrire les trente-trois locomotives qui figuraient à cette Exposition. Il lui a paru préférable de présenter à ses auditeurs quelques tableaux synoptiques, destinés à faire ressortir les divergences et les tendances générales et dans lesquels il étudiera successivement les locomotives exposées : 1° au point de vue du véhicule ; 2° au point de vue de la production de la vapeur ; enfin, 3° au point de vue de l'utilisation de la vapeur. Toutefois, sa première communication ne portera que sur l'étude du véhicule.

Après avoir consacré quelques mots aux locomotives à voie étroite,

aux locomotives d'usine et de tramway, M. Herdner s'occupe plus particulièrement des locomotives de grande ligne. L'absence complète de locomotives à roues libres dans une Exposition où dominaient les locomotives à six roues accouplées lui fournit l'occasion de faire l'historique de l'évolution de la locomotive à grande vitesse, évolution qui lui paraît entrer dans une phase nouvelle, caractérisée par un accroissement notable et subit du poids adhérent. Il montre que la puissance des locomotives d'express a triplé à peu près depuis quarante ans et que leur poids adhérent a suivi une progression parallèle. Or le poids total remorqué par place occupée a triplé dans le même laps de temps. Il en résulte que, par les trains rapides actuels, les puissantes locomotives d'aujourd'hui ne remorquent pas plus de voyageurs que ne faisaient les Crampton par les express d'autrefois et que la puissance des locomotives a grandi au bénéfice exclusif du confort et de la sécurité assurés aux voyageurs.

La locomotive à six roues accouplées et à bogie, qui est la locomotive à grande vitesse de demain, a commencé par être affectée à la remorque des trains relativement rapides circulant sur des lignes accidentées. Elle a fourni la solution d'un problème qui se pose journellement dans les services de traction et que M. Herdner a appelé le « problème de Montréjeau ». C'est, en effet, pour l'exploitation de la section accidentée de Montréjeau à Pau qu'a été créée, en 1896, la locomotive Compound 1301 de la Compagnie du Midi, à six roues accouplées de $1^{m},75$ de diamètre et à bogie. Elle est le prototype des locomotives similaires qui ont été mises en service depuis lors sur tous les grands réseaux français, et dont les exemplaires successifs destinés à circuler sur des lignes à rampes de moins en moins prononcées ont été pourvus de roues d'un diamètre croissant. Ce diamètre atteint 2 mètres pour la locomotive exposée par la Compagnie de Lyon et affectée au service des express entre Laroche et Dijon.

Après quelques remarques sur les poids des locomotives exposées (poids sur rails par essieu, poids adhérent, poids total en ordre de marche), M. Herdner constate que l'emploi des bogies s'est fort répandu depuis une quinzaine d'années et que la préférence est généralement accordée à ceux dont la crapaudine a un jeu transversal contrôlé par des organes de rappel. Il donne quelques détails sur le mode de construction des bogies exposés à Liège et fait connaître les raisons d'être des dispositions très variées que présentent ces différents bogies.

Il dit ensuite quelques mots de la locomotive à bogies moteurs de la Compagnie du Nord qu'il compare aux locomotives Wiener-Neustadt et Seraing qui prirent part en 1851 au mémorable concours du Semmering. En effet, ces deux locomotives comportent chacune, comme celle du Nord, deux bogies moteurs distincts, susceptibles de prendre un mouvement relatif de pivotement par rapport à un châssis principal dont le rôle est de supporter la chaudière en même temps que de transmettre les efforts de choc et de traction.

La locomotive à deux bogies de la Compagnie du Nord a été soumise, le 23 septembre dernier, en présence de représentants des diverses

Compagnies, à des essais au cours desquels elle a remorqué respectivement 1 000, 915 et 800 t brutes sur de longs parcours en rampe de 10, 12 et 13 mm par mètre. Sa parfaite stabilité à des vitesses de 80 km à l'heure et au delà, qu'elle a réalisées en tête d'un train spécial formé de matériel à voyageurs, a été particulièrement remarquée. Or cette machine peut être considérée comme l'apologie de la double traction.

M. Herdner constate en dernier lieu que les constructeurs ne craignent plus, comme autrefois, de surélever notablement l'axe de la chaudière et, par suite, le centre de gravité général des locomotives. Après quelques considérations d'ordre historique, il indique sommairement les motifs pour lesquels on admet aujourd'hui que la sécurité loin d'être compromise par cette surélévation ne peut qu'y gagner. Il ajoute que les formules qu'il a établies au cours d'une étude publiée antérieurement sur le fonctionnement des organes de la suspension, complétées par l'application d'un principe énoncé par M. Georges Marié, lui semblent de nature à éclairer cette question d'un nouveau jour. Elles permettent de réfuter une objection souvent formulée et de fixer des limites à la surélévation du centre de gravité. Il termine en faisant remarquer que les bogies à appui sphérique central échappent en partie aux avantages de cette surélévation et que ce serait là une circonstance regrettable, étant donné qu'il s'agit d'essieux d'avant, si ces mêmes bogies n'échappaient d'autre part aux conséquences de l'oscillation de double amplitude qui peut se produire à la sortie des courbes et sur laquelle M. Marié a précédemment appelé l'attention.

M. le Président remercie M. Herdner de son intéressant exposé des locomotives qui ont figuré à l'Exposition de Liège, et de l'évolution dont ces machines marquent le terme actuel.

La mise en lumière de cette évolution a présenté d'autant plus d'attrait que M. Herdner a pu contribuer lui-même aux solutions successives du problème-type de Montréjeau.

M. le Président est heureux de porter à la connaissance de la Société qu'elle ne vient d'entendre que la première partie (étude du véhicule) de la communication de M. Herdner, dont la deuxième partie sera exposée au commencement de juillet et applaudie comme la première.

Il est donné lecture, en première présentation, de la demande d'admission de M. M. Bechet, comme Sociétaire Assistant.

MM. E. Aubry, E.-F. Declercq, P.-A. Faraud, A.-T.-J. Guéritte, A. Hollard, M.-P.-R. Jourdain, P.-Ch. Lemale, Ph. Loiseleur, W.-Ch.-R. Meyer, P.-H. Robinet, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires ;

MM. M.-V. Laval et M. Maschkauzan comme Membres Associés.

La séance est levée à dix heures cinquante.

L'un des Secrétaires techniques :

P. Schuhler.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 18 MAI 1906

Présidence de M. A. Hillairet, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

Alexandre de Laborie, ancien Élève de l'École Centrale (1847), Membre de la Société depuis 1848, Chevalier de la Légion d'Honneur. M. de Laborie, un des fondateurs de notre Société, a été Inspecteur Principal, puis Sous-Chef du mouvement des chemins de fer de l'Est;

M. Cornet y Masriera, Membre de notre Société depuis 1900, Ingénieur-Constructeur.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

M. L. Montel a été nommé Chevalier de l'Aigle d'Anjouan des Comores (Madagascar).

M. L. Guillet a reçu de « L'Iron and steel Institute » la médaille d'or Carnegie, pour ses travaux sur les Aciers spéciaux.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains Bulletins.

M. le Président fait connaître les dates auxquelles doivent se tenir les Congrès suivants :

Cinquième Congrès du Sud-Ouest Navigable : les 6, 7 et 8 juillet prochain, à Bergerac;

Quatrième Congrès de l'Association Internationale pour l'essai des matériaux, du 3 au 8 septembre prochain, à Bruxelles.

Congrès Colonial National, du 5 au 9 septembre prochain, à Marseille.

M. le Président fait connaître que la Société des Ingénieurs Allemands vient d'inviter la Société, en la personne de son Président, aux Fêtes du Cinquantenaire de cette Association.

M. A. Gouvy, Membre du Comité, a été désigné comme délégué de la Société, M. le Président étant dans l'impossibilité de se rendre à cette invitation. Des remerciements seront adressés à la Société des Ingénieurs Allemands.

M. le Président dit que les deux conférenciers primitivement inscrits pour prendre la parole ce soir : MM. Besson et Guillet, sont tous deux assez souffrants, et, par suite, dans l'impossibilité de faire leurs communications.

Il adresse ses remerciements à MM. Soreau et Barbet, qui ont bien voulu, presque à l'improviste, préparer les deux communications que la Société va entendre.

M. R. Soreau a la parole pour sa Communication sur *Quelques nouveaux types d'abaques. — Application des procédés nomographiques à la recherche des formules et des lois.*

Après un historique rapide du développement des méthodes graphiques, le conférencier montre comment, au cours du XIX^e^ siècle, elles s'orientèrent dans des directions diverses, pour aboutir aux trois formes suivantes : la Géométrie descriptive, la Statique graphique, la Nomographie.

Pour cette dernière, Lalanne imagina, en 1846, le principe de l'anamorphose, ou transformation des systèmes curvilignes en systèmes rectilignes dans les anciens abaques à entrecroisement. Quarante ans plus tard, M. Massau généralisa ce principe qui, grâce à une transformation nouvelle, allait faire entrer la représentation par abaques dans une voie extraordinairement féconde. Cette transformation, due à M. d'Ocagne, consiste à remplacer par 3 courbes cotées les 3 systèmes rectilignes cotés des abaques anamorphosés : d'où les abaques à alignement, où l'on peut d'ailleurs envisager la possibilité de remplacer les échelles simples par des systèmes à 2 variables, ce qui permit à M. d'Ocagne d'obtenir des abaques pour des formules à 4, 5, 6 variables et plus. Il est juste de reconnaître que M. Lallemand avait déjà créé une méthode analogue, mais plus particulière, avec ses élégants abaques hexagonaux, et que M. Prévot, adjoint de M. Lallemand, avait imaginé son ingénieuse échelle binaire pour la généralisation de cette méthode.

En coordonnant les travaux de ses devanciers et les siens propres, M. d'Ocagne constitua un véritable corps de doctrine d'une science nouvelle, à laquelle il a donné le nom de Nomographie. Son effort personnel porta principalement sur l'alignement *simple* et sur les importantes généralisations qu'il comporte.

En 1901 parut dans notre *Bulletin* un Mémoire sur lequel M. d'Ocagne a donné ce jugement : « Nos recherches ont reçu un prolongement de grande importance du fait des travaux de M. Soreau relatifs au *double* alignement. Dans sa *Contribution à la théorie et aux applications de la Nomographie*, cet Ingénieur, après avoir, par une autre marche, retrouvé les résultats que nous avions déjà obtenus dans le cas du simple alignement, a fait la remarque que les équations à 4 variables susceptibles d'être représentées par la méthode du double alignement, pouvaient toujours être mises sous la forme d'un certain déterminant, ce qui lui a permis d'aborder une théorie analogue pour des équations à 4 variables. » Et M. d'Ocagne signale ailleurs « la forme originale et féconde sous laquelle la théorie du double alignement se trouve exposée et généralisée dans ce Mémoire, ainsi que l'extension qui y est donnée à la

représentation des équations à plus de 3 variables. » C'est ce que M. Soreau fait comprendre par quelques exemples.

Ces diverses méthodes, peu enseignées en France, ont pris place au contraire dans l'enseignement technique de plusieurs Écoles ou Universités d'Allemagne, de Belgique et d'Italie, et M. Soreau lit à ce sujet un passage d'une lettre que lui adressait M. l'Ingénieur Suttor, chargé du cours de Nomographie à l'Université de Louvain. Du fait de cet enseignement, la nouvelle science, d'origine éminemment française, devait forcément recevoir des perfectionnements de la part des Professeurs et des Ingénieurs étrangers. Il convient de citer surtout les abaques coniques et les abaques cubiques de M. le docteur Clark, professeur à l'École Polytechnique du Caire. M. Soreau indique comment la reconstitution de ces abaques, dont M. Clark n'a pas encore publié la théorie, l'a conduit à imaginer lui-même de nouveaux types, qu'il nomme abaques circulaires, et comment il est ainsi parvenu, par l'application de sa méthode générale du double alignement, à représenter certaines formules à 4 variables par 4 échelles placées sur une même circonférence, la solution numérique étant donnée par 2 cordes parallèles ; il montre sur un exemple à 8 variables l'intérêt de pareils abaques, qui suppriment toute ligne auxiliaire de pivots, et où le développement des échelles permet une plus grande précision.

Si la Nomographie donnait seulement un procédé rapide pour calculer les formules, elle serait évidemment très utile, mais ne justifierait peut-être pas l'opinion de M. Maurice Lévy, qui lui prédit une place à côté de la Géométrie descriptive et de la Statique graphique. Mais elle peut aussi rendre de réels services dans la recherche des formules et des lois. Elle est peu connue sous cet aspect, et c'est ce qui a déterminé M. Soreau à développer, dans cet ordre d'idées, les considérations qui forment la seconde partie de sa Communication.

Prenant, comme données supposées d'expériences, les résultats que fournit la formule de Regnault pour la chaleur de vaporisation de l'eau, il indique comment les méthodes nomographiques permettraient de calculer, d'après les résultats expérimentaux, les coefficients des différents termes de cette formule, et il montre combien cette méthode est intéressante par la détermination d'un champ où les coefficients peuvent être choisis avec des valeurs simples, tandis que la méthode des moindres carrés conduit à des coefficients numériques généralement compliqués. Puis M. Soreau modifie la formule, par voie nomographique, de façon que la chaleur de vaporisation soit nulle pour la température critique de la vapeur d'eau, par analogie avec les résultats trouvés par Mathias avec l'anhydride sulfureux et l'anhydride carbonique. Ainsi vient s'introduire une constante physique, et M. Soreau fait entrevoir comment la méthode permettrait sans doute de remplacer la formule empirique initiale, à coefficients barbares et sans signification, par une autre formule, fonction de constantes physiques qui lui donneraient un impressionnant caractère de vérité.

Or, ce n'est pas là un mince avantage. Tandis que la première n'est plus valable en dehors des limites expérimentales entre lesquelles elle a été établie, la seconde a chance d'être exacte quand on fait de l'extra-

polation ; à tout le moins, elle est un guide plus sûr pour le chercheur : elle peut contenir en quelque sorte des découvertes à l'état latent : telles les admirables formules de Sarrau, synthèse magistrale d'une série d'observations, de déductions mathématiques, physiques et chimiques, et qui, sous l'apparente aridité des symboles algébriques, renfermaient en elles le germe de la poudre Vieille. M. Soreau fait voir l'utilité des procédés nomographiques pour de semblables recherches en rappelant les deux exemples connus : l'un dû à M. Rateau, Ingénieur des Mines, qui établit ainsi la formule des consommations théoriques de la machine à vapeur ; l'autre due à M. Soreau lui-même, et où notre Collègue a montré que, dans les phénomènes thermo-électriques, il existe une relation entre le coefficient de la chaleur spécifique d'électricité des métaux et leur point neutre.

En résumé, la Nomographie constitue un procédé de calcul rapide considération toujours importante dans les arts industriels, et d'un haut intérêt dans certaines applications, comme la rectification de route d'un navire, la détermination des éléments des tirs de guerre, etc... Elle facilite l'établissement, toujours délicat, des formules empiriques, et permet de choisir des coefficients honnêtes. Enfin et surtout, elle semble destinée à devenir un des bons outils créés par l'ingéniosité des hommes pour arracher à la nature le secret de ses lois.

M. LE PRÉSIDENT est d'accord avec M. Soreau sur l'importance des procédés nomographiques considérés comme procédés de calcul et comme procédés d'investigation. Mais l'emploi courant de la nomographie nécessite une sérieuse étude préalable ; il est donc utile que cette science, d'où résulte un progrès comparable à celui qu'apporta jadis la représentation Cartésienne, soit enseignée dans les écoles techniques. On se préoccupe d'ailleurs actuellement de cet enseignement.

M. le Président est heureux de remercier de sa Communication M. Soreau dont les travaux nomographiques continuent si utilement ceux de Lalanne, de MM. Massau, M. d'Ocagne et Lallemand.

M. E. BARBET a la parole pour son *Compte-rendu du Congrès de Chimie appliquée de Rome*.

M. E. BARBET remercie la Société des Ingénieurs civils de lui avoir fait l'honneur de le désigner comme Délégué au Congrès International de Chimie de Rome. Il rappelle les origines de ces Congrès internationaux qui furent fondés par l'Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie de France et des Colonies, en 1884, sous la présidence de M. Gallois, actuellement Président de la 5e section du Comité des Ingénieurs civils, avec la collaboration des Chimistes belges. Ce premier Congrès eut lieu à Bruxelles, en 1894, et son succès engagea à décider que tous les deux ans il y aurait un Congrès International et qu'on en élargirait le cadre,

Le deuxième Congrès eut lieu, en 1896, à Paris, sous la Présidence d'honneur de M. Berthelot, et la Présidence effective de M. Lindet, alors Président de l'Association des Chimistes. Le succès fut considérable et l'œuvre des Congrès internationaux se trouva définitivement fondée.

Le troisième Congrès eut lieu à Vienne en 1898, le quatrième à Paris

en 1900. On accorda à la France ce tour de faveur en raison de l'Exposition Universelle.

A partir de cette date on espaça les Congrès de trois ans au lieu de deux.

Le cinquième Congrès se tint à Berlin en 1903, et le sixième vient de tenir ses assises à Rome le mois dernier.

Le Comité français avait pour Président d'honneur M. Berthelot et pour Président effectif M. Moissan.

Le Congrès à Rome était sous la Présidence d'honneur du Professeur Canizzaro, et sous la Présidence effective du Sénateur Paterno, tous les deux professeurs de Chimie générale à l'Université de Rome. Le Congrès de Rome a réuni 2,500 adhérents, dont 1,500 étrangers. Les Français dépassaient le nombre de 300 ; l'on peut dire que la science française a été très dignement représentée et qu'elle a tenu la place prépondérante qui lui appartenait.

Les Congrès internationaux ont toujours un grand succès, non seulement en raison des sujets scientifiques qui y sont traités, mais encore à cause des bonnes relations internationales dont ils sont l'occasion et enfin il ne faut pas négliger non plus l'attrait des villes que l'on visite et des curiosités historiques ou artistiques qu'elles contiennent. A ce point de vue l'attrait de Rome et de l'Italie a eu une influence décisive sur les succès du Congrès. Les organisateurs du Congrès de Rome, et en particulier le Secrétaire général, M. le Professeur Villavecchia, avaient su donner à cette partie du programme un charme tout spécial.

M. Barbet fait passer sous les yeux de l'Assemblée quelques projections photographiques représentant la Rome ancienne et la Rome contemporaine.

Il termine en disant que l'œuvre si utile des Congrès Internationaux de Chimie pourrait être imitée avec fruit par le Génie civil. Il lui semble que la Société des Ingénieurs Civils, avec sa puissante organisation et le nombre considérable de ses Membres serait bien attitrée pour organiser elle aussi des Congrès Internationaux resserrant les liens de confraternité des ingénieurs de tous les pays. Il est persuadé que la France y tiendrait un rôle particulièrement brillant et que nos compatriotes trouveraient dans ces réunions internationales l'occasion de diffuser leurs idées et, tout en répandant la bonne renommée de la France scientifique, d'amener l'éclosion de grandes et fructueuses entreprises françaises dans tous les pays étrangers.

M. L. Guillet tient à rappeler les travaux de la Section des Mines et de la Métallurgie, une des plus importantes du Congrès de Rome.

Il insiste sur le principe adopté par le Comité d'organisation consistant dans la présentation de rapports sur l'état actuel des différentes industries dans les divers pays.

A ce point de vue la Section de Métallurgie a été particulièrement favorisée. Des rapports ont été présentés donnant l'état actuel de la sidérurgie en Allemagne, en Angleterre, aux Etats-Unis.

Pour la France, le Comité des Forges a bien voulu se charger du rapport et M. Saladin, Ingénieur en chef du Creusot, l'a présenté. Ce

travail de la plus haute importance se divise en trois parties : dans la première, M. Osmond a traité les Études théoriques de la Métallurgie; il a montré le mouvement scientifique considérable qui s'est créé en France pour l'étude des alliages et en a étudié toute l'importance industrielle, en insistant spécialement sur la notion de solution solide.

Dans la deuxième partie, M. Saladin a analysé l'état de la sidérurgie, surtout dans la région de l'Est. Ceci avec d'importants tableaux statistiques. Enfin, dans la troisième partie, M. Charpy, directeur des usines Saint-Jacques, à Montluçon (Compagnie de Châtillon, Commentry, Neuves-Maisons), a fait ressortir avec sa haute compétence l'importance des produits spéciaux et étudié les méthodes d'essais. Le rapport du Comité des Forges constitue assurément une œuvre des plus remarquables et des plus utiles.

Une autre question qui a été traitée d'une façon toute spéciale dans la section de métallurgie est celle de la fabrication de l'acier au four électrique. C'est assurément l'une des questions les plus à l'ordre du jour. M. le commandant Stassano, l'un des promoteurs de l'électrosidérurgie, a étudié, dans une communication extrêmement claire, le procédé qu'il préconise et qui utilise la chaleur de l'arc par réverbération. Il a décrit son type de four que vient d'adopter l'Administration de la Guerre en Italie. M. Guillet a insisté sur l'état actuel du procédé Froges-Héroult en montrant que ce procédé est entièrement sorti de la période d'essais. Actuellement, en effet, en dehors du four de La Praz qui a déjà produit plus de 4,000 tonnes d'aciers, on compte trois installations : l'une à Kortfors en Suède, la deuxième à Remscheid en Allemagne, la troisième à Syracuse, aux États-Unis. De plus, en juillet, sera mise en route une installation au Saut-du-Tarn.

A Syracuse, comme à Remscheid, on se propose d'utiliser et l'on utilise déjà — au moins dans la première — le procédé mixte, c'est-à-dire que l'on prend de l'acier Martin que l'on fait passer au four électrique. Celui-ci opère le perafflnage de la façon la plus remarquable et la conséquence immédiate de cette fabrication sera que les aciers fins — c'est-à-dire à très faibles teneur en impuretés — se substitueront même dans les constructions ordinaires aux aciers demi-fins ou ordinaires.

Il est de plus, un fait très important que M. Guillet a mis en vue dans sa communication au Congrès : les aciers préparés au four Froges-Héroult présentent, à même composition chimique ou encore à charges de rupture à la traction égales, des allongements et une résistance au choc bien plus élevés que les aciers au carbone préparés par les procédés ordinaires, même au creuset. Ceci est probablement dû à l'atmosphère neutre que l'on peut obtenir au four électrique et qui met le métal à l'abri des gaz. Il faut noter tout spécialement que ces aciers subissent beaucoup moins de déformation dans la trempe que les aciers ordinaires.

M. Guillet signale que M. Héroult, chargé par le Gouvernement du Canada d'étudier la fabrication de la fonte, a obtenu à Sault-Sainte-Marie les résultats suivants : substitution de la tourbe abondante dans ces contrées, au coke qui est d'un prix élevé ; obtention d'une fonte très pure et économie au prix de trois dollars à la tonne.

De très nombreux autres rapports ont encore été présentés : la métallurgie du cuivre a fait l'objet de plusieurs communications dont l'une de M. Truchot sur le grillage, le lavage et la cémentation des pyrites.

M. Ferraris a présenté une note sur l'électrométallurgie du zinc et a fait ressortir l'importance de ces procédés pour l'Italie qui possède d'importants gisements de minerais de ce métal et de grandes chutes d'eau. Il est à penser que les études déjà couronnées de succès de notre Collègue M. Salgues, trouveront en Italie de nombreuses applications. M. Vigouroux a présenté deux notes, sur les alliages de fer et sur les alliages de manganèse, dans lesquelles la méthode chimique a été seule utilisée. M. Gin a présenté un travail sur la fabrication des divers produits ferro-métalliques. M. Lebeau a donné une étude très complète et très remarquée des alliages de cuivre et de silicium, et M. Guillet a insisté sur la fabrication et la théorie des laitons spéciaux.

En résumé, les travaux de la Section de métallurgie ont été considérables.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Barbet de son intéressant compte-rendu du Congrès de Chimie appliquée, où la science et l'industrie françaises étaient dignement représentées.

M. Barbet et M. Guillet ont rappelé la communication faite à ce Congrès par M. Moissan sur la volatilisation des métaux au four électrique M. le Président rappelle la collaboration de M. Violle, lors des premiers essais de M. Moissan, et l'historique du four électrique, exposé par M. Street à la Société Internationale des Électriciens en 1895.

M. le Président estime que les procédés électro-métallurgiques de fabrication de l'acier, tels que les procédés Stassano de Terni, Héroult de La Praz et analogues, ne sont applicables qu'à la production des aciers fins.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. D. Dutard et J.-M. Sanguineti, comme Membres sociétaires titulaires.

M. M. Béchet est admis comme Membre sociétaire assistant.

La séance est levée à onze heures cinq minutes.

L'un des Secrétaires techniques,
P. SCHUHLER.

DISCUSSION
SUR
LES TURBINES A GAZ[1]

I
NOTE
DE
M. R. ARMENGAUD

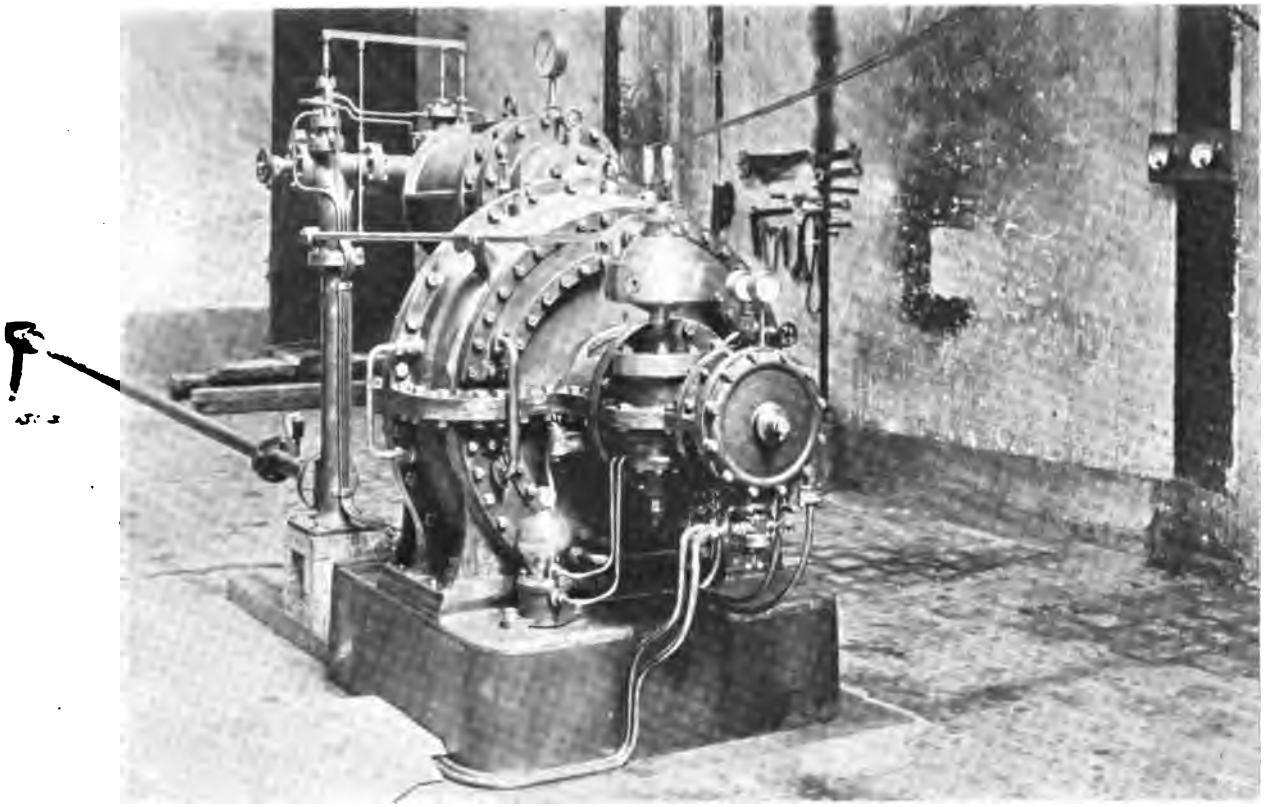
En dehors de tout l'intérêt scientifique ou historique que pouvait présenter une communication aussi documentée que celle de M. Sékutowitz, il y a cependant lieu de regretter que cette dernière ait été un peu prématurée, car M. Sékutowitz n'a envisagé la résolution du problème de la turbine à gaz que sous une forme purement théorique et n'a pu ainsi raisonner sur des faits précis, comme il aurait été plus intéressant de le faire dans une semblable communication.

Je ne veux cependant pas dire par là que M. Sékutowitz ait eu tout à fait tort, s'il a cru devoir obéir à ce mobile, à savoir : qu'une discussion qui serait suscitée à la suite de cette communication serait peut-être de nature à obliger dès maintenant un certain nombre d'Ingénieurs français à révéler les travaux qu'ils auraient poursuivis jusqu'à ce jour sur cette question.

Il était dans l'intention de M. Lemale, comme de moi-même, de ne faire parler de nos travaux qu'en temps opportun, c'est-à-dire lorsqu'une unité de haute puissance, une fois construite et une fois essayée, eût permis, non seulement d'apporter à la tribune de la Société des Ingénieurs Civils de France des résultats d'ordre pratique incontestables, mais encore de convoquer les Membres de la Société des Ingénieurs Civils à la visite de cette machine, en plein fonctionnement, dans les ateliers de la Société des Turbo-Moteurs.

Cette manière de procéder aurait ainsi permis de prouver, à ceux qui n'auraient pas manqué de critiquer par avance la possibilité d'exécution d'une semblable machine, que toutes leurs

(1) Voir Mémoires de M. G. Hart (Bulletin de Janvier 1906), page 56 ; de M. L. Sékutowicz (Bulletin de Février 1906), page 195 ; de M. J. Deschamps (Bulletin de Février 1906), page 304.



TURBINE MIXTE, A COMBUSTION, SYSTÈME (ARMENGAUD ET LEMALE).

théories ne sauraient être acceptées en présence de l'incontestabilité d'un fait acquis. C'est ainsi, du reste, que de Laval, Parsons et Rateau ont agi lorsqu'ils ont voulu convaincre les détracteurs de la turbine à vapeur.

Toutes ces considérations précédentes nous conduisent donc à ne vouloir présenter à M. Sékutowitz que des observations d'un ordre très général. Ces observations, par exemple, rétabliront certaines erreurs qui se sont glissées dans la communication de M. Sékutowitz quand il parle tout d'abord de la turbine Stolze, quand il oublie également de faire ressortir qu'il saurait tout de même y avoir une nuance entre les brevets de principes qu'il a signalés et les brevets de principes et de réalisation appartenant à la Société des Turbo-Moteurs, système Armengaud et Lemale.

Toutefois, en dehors de ces observations, je ferai part d'un très petit nombre de courbes relevées sur notre machine d'essais.

Le plus grand nombre de ces courbes, pour ne pas dire la totalité, contiennent des renseignements des plus précieux, mais qu'il ne m'est pas permis de divulguer, étant donné qu'ils sont l'entière propriété de la Société des Turbo-Moteurs. Je donnerai ensuite la représentation graphique des cycles : 1° d'un turbo-moteur à combustion, avec introduction de vapeur dans la chambre de combustion ; 2° d'une turbine à combustion avec injection séparée de vapeur récupérée et détendue sur les aubes de la turbine.

Finalement, je donnerai une description très succincte de la turbine d'essais, ainsi que de la turbine proprement dite de 300 chevaux actuellement achevée dont vous verrez ci-contre la reproduction photographique.

Au cours de la discussion qui eut lieu le 6 avril à la Société des Ingénieurs Civils de France, j'ai fait déjà ressortir que M. Sékutowitz avait fait une confusion en représentant la turbine du docteur Stolze comme étant une turbine à combustion continue. Si, depuis M. le docteur Stolze a pris ses brevets et publié sa brochure, il a cru devoir changer son fusil d'épaule, c'est-à-dire a transformé sa turbine à air chaud en turbine à combustion, c'est qu'il a dû évidemment se rendre compte, en reprenant les données qui intervenaient dans sa formule de rendement, qu'il avait totalement omis de faire intervenir les rendements hydrauliques de la turbine et du turbo-compresseur, qui ne sont malheureusement pas pour lui ni l'un ni l'autre égaux à l'unité.

En tenant compte cette fois du rendement hydraulique de la turbine et du turbo-compresseur, on a, en reprenant sa formule de rendement :

Si ρ Rendement économique de la machine,
E_1 Énergie effective fournie par la turbine,
E_2 Énergie effective absorbée par le ventilateur,
E_3 Énergie apportée par le combustible,

$$\rho = \frac{E_1 - E_2}{E_3}$$

$$= \frac{(400° - 243°) \times 0{,}6 - (103° - 15°) : 0{,}7}{400° - 180°} = - 0{,}143°.$$

Il en résulte donc que le rendement ne semble pas devoir être très encourageant ; ce qui n'est du reste pas pour nous étonner, si l'on se rappelle les résultats défavorables qui ont toujours suivi la construction des moteurs à air chaud.

Il me semble pourtant que l'on aurait pu prévoir ces insuccès, car il est impossible de ne pas faire une distinction entre le phénomène d'ordre chimique appliqué aux moteurs à combustion ou à explosion et le phénomène d'ordre physique qui est appliqué aux moteurs à air chaud.

Dans les moteurs de la première catégorie, du fait que l'énergie calorifique se trouve développée au sein même de la masse du mélange, le rendement calorifique est pour ainsi dire égal à l'unité ; dans les moteurs à air chaud, au contraire, où l'énergie calorifique est empruntée à un foyer extérieur, le rendement calorifique de leur masse d'air, tout simplement dilatée par conductibilité, ne saurait être égal à l'unité.

Cette opinion défavorable que je viens d'émettre sur l'avenir des turbines à air chaud, je me permettrai également de l'étendre aux turbines à combustion à air pur, c'est-à-dire aux turbines dans lesquelles on se verrait obligé de faire appel à un très grand excès d'air si on voulait par ce seul procédé de refroidissement abaisser à une température convenable les gaz de la combustion, de manière qu'ils ne détériorent pas très rapidement les organes de la machine qu'ils traversent.

Qu'il soit dit également en passant que c'est un Français du nom de Sochet qui, en 1853, fit breveter le premier un système de turbine à gaz dans lequel il spécifie que l'air pourrait être refoulé par tous systèmes connus, vis d'Archimède, compresseur à piston, etc.

Abordant maintenant la question des brevets, je tiens à signaler que la Patentamt nous a reconnu le brevet de principe, qui consiste : dans une turbine à combustion continue et à pression constante à interposer entre le point d'allumage et les tuyères de détente, une chambre de combustion où les gaz viennent tout d'abord brûler sous pression et se trouvent ensuite rassemblés convenablement avant de les laisser détendre sur les aubes de la turbine.

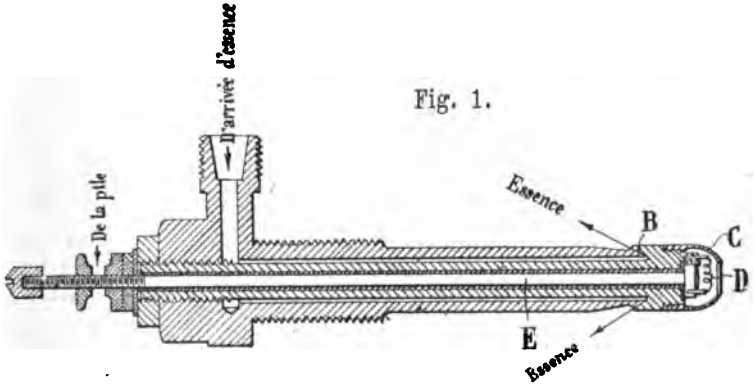
C'est du reste grâce à l'application de ce principe qu'il nous a été permis d'obtenir en quelque sorte une chambre de combustion servant en même temps de réservoir d'égalisation de pression, pour certaines variations de charge, de pétrole et d'air.

Je vais maintenant chercher à mettre en évidence de quelle manière nous avons pu surmonter les difficultés constructives qui nous ont permis de conditionner une machine en vue de son fonctionnement rationnel, sans avoir à craindre les inconvénients qui pourraient résulter des très hautes températures existant dans ce genre de machine.

1° Comme vous le verrez sur la figure 1, nous obtenons un mélange intime du pétrole et de l'air avant son introduction dans la chambre de combustion de la manière suivante :

Le pétrole arrive par un canal annulaire B, en sens inverse du courant d'air, qui arrive lui-même par un tube concentrique

Fig. 1.



environnant ce pulvérisateur. Les canaux très petits par lesquels débouche le pétrole ne rencontreraient pas l'axe du pulvérisateur si l'on venait à les prolonger. Ils présentent un parcours hélicoïdal. Le courant d'air qui entoure le pulvérisateur agit sur lui comme une douche froide et le préserve contre la chaleur de

rayonnement qui règne également à l'arrière de cette chambre. Un bobéchon en acier C empêche l'extinction du filament de platine D par le courant d'air. Le pulvérisateur joue également le rôle d'allumeur : en effet, la tige centrale isolée E ferme l'un des pôles du circuit dont l'autre est relié à la masse. Une tension de deux volts suffit pour porter le platine à l'incandescence.

Ce pulvérisateur allumeur peut être démonté extrêmement facilement en vue de sa vérification et, une fois démonté, permet de découvrir l'intérieur de la chambre de combustion tout entière.

La figure 2 représente la chambre en deux parties, une partie dite de combustion, l'autre dite de refroidissement. Cette pre-

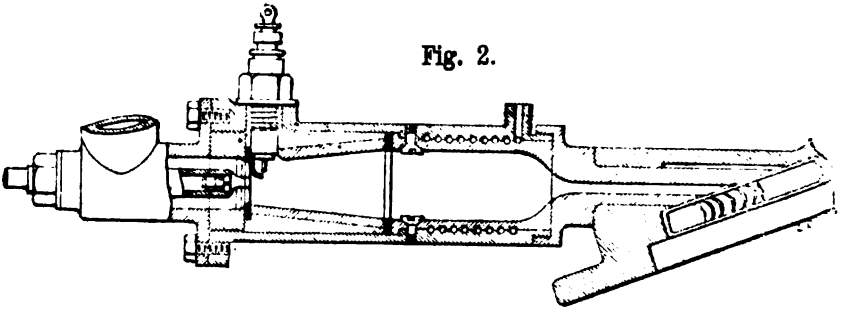


Fig. 2.

mière partie, revêtue intérieurement d'une gaine en carborandum et qui peut résister à des températures de 3000 degrés, constitue par elle-même, lorsque le carborandum est porté au rouge, le meilleur procédé d'allumage et de combustion complète d'un mélange gazeux animé d'une certaine vitesse et se déplaçant dans cette chambre de combustion. La deuxième partie, constituée par une gaine d'acier isolée de la gaine de carborandum par une rondelle d'amiante, par exemple, se trouve parfaitement refroidie à une température convenable par le fait d'une circulation d'eau ou de vapeur qui se produit dans un serpentin creusé dans la masse même de cette gaine d'acier. C'est dans cette deuxième partie et à proximité des tuyères de détente que se fera l'introduction de vapeur, s'il y a lieu, introduction qui ne saurait, en cet endroit, influencer en aucune façon la combustion produite dans la première partie de la chambre.

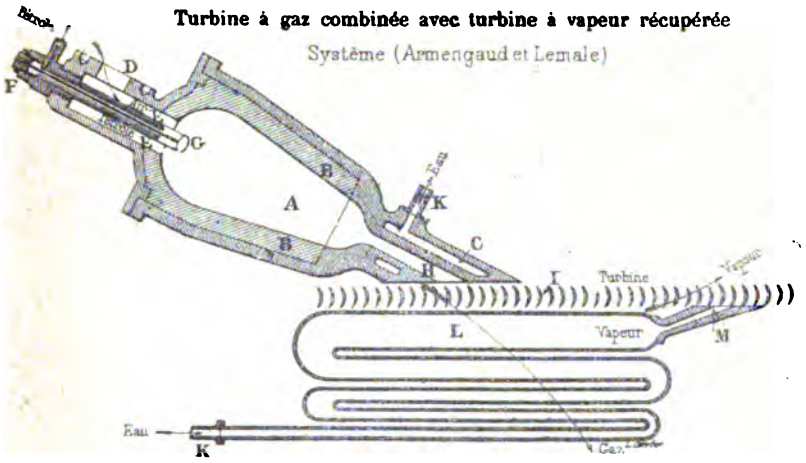
Comme le représente la figure 3, on se rendra également compte qu'il est possible de soustraire la chambre de combustion, ainsi que tous les organes fixes ou mobiles de la machine, à

l'influence néfaste de leur contact continuel avec des gaz à de très hautes températures. Ainsi, par exemple, on établira une circulation de vapeur non seulement dans le serpentin qui entoure une partie de la chambre de combustion, mais encore cette vapeur circulera également tout autour des tuyères, aubes directrices, et finalement se rendra dans un récupérateur de la chaleur des gaz de l'échappement, pour se détendre ensuite parallèlement sur les aubes de la turbine en vue de les refroidir. En effet, il est facile de concevoir que, si les tuyères de détente de la vapeur sont distribuées, par rapport aux tuyères de détente des gaz, de manière qu'un élément quelconque des disques

Fig. 3.

Turbine à gaz combinée avec turbine à vapeur récupérée

Système (Armengaud et Lemale)



traverse successivement des zônes relativement froides et des zônes à température élevée, chaque élément prendra une température moyenne suffisamment basse pour que le métal des aubes et des disques n'en soit pas endommagé et que leur résistance ne soit pas sensiblement diminuée.

Cette détente de vapeur provenant des chaleurs perdues, en quelque place que ce soit dans la machine, aura également pour effet d'augmenter le rendement de la turbine.

La figure 4 représente un disque refroidi par circulation d'eau intérieure. A et B sont deux gorges circulaires obtenues au tour et fermées par deux anneaux; l'eau y accède par une série de conduits radiaux E refermés par des vis F et en repart par des conduits semblables. Chaque aube est percée intérieurement et fixée à chaud par queue d'aronde ou par tout autre procédé

convenable. L'eau froide est toujours projetée à l'extrémité de l'aube, en vertu de sa grande densité.

L'eau froide étant plus dense que l'eau réchauffée, une circulation intérieure automatique ou pour ainsi dire auto-régulatrice s'établit. En effet, la forge centrifuge qui projette l'eau froide plus dense du centre à la périphérie est plus grande que celle que doit vaincre l'eau chaude pour revenir de la périphérie au centre. Pour les grandes vitesses de rotation habituelles des turbines, la compression peut même atteindre plusieurs atmosphères et croître à mesure que la chaleur à capter augmente.

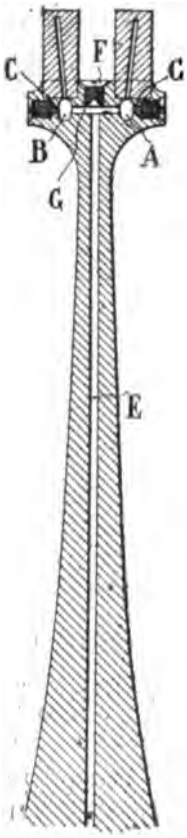


Fig. 4.

Comme autre mode de refroidissement, nous avons aussi prévu celui qui consiste à refroidir les jantes des disques, dont le pourtour intérieur est conformé en doubles rigoles symétriques au moyen d'une adduction d'eau.

Nous avons envisagé également un mode de refroidissement par la vapeur, consistant à faire arriver cette dernière par un conduit percé suivant l'axe de l'arbre, laquelle vapeur circule ensuite du centre à la périphérie des disques par des conduits radiaux et débouche dans un conduit circulaire pratiqué dans la jante des disques pour sortir finalement par des trous ou conduits percés dans les aubages de la turbine.

Nos brevets parlent également de l'intérêt qu'il y aurait à ce que la turbine proprement dite soit située entre un compresseur polycellulaire amont et un compresseur aspirateur polycellulaire aval. Cette disposition particulière permet de réaliser une chute de pression compatible avec un bon rendement pour le groupe.

Il suffira, en effet, d'avoir en amont une pression de 3 kg, par exemple, et en aval une pression de 0,30. Le rapport de ces deux pressions sera ainsi très grand et le rendement thermo-dynamique se trouvera considérablement augmenté, sans qu'il soit nécessaire de recourir pour ces turbo-moteurs à des régimes de pression amont excessivement élevés, c'est-à-dire de comprimer l'air à très haute pression, opération qu'il est surtout très difficile

d'effectuer avec un très bon rendement pour les compresseurs polycellulaires.

Cette disposition permet aussi de conclure à la possibilité d'obtenir un très bon rendement pour ces compresseurs.

Pour le compresseur amont, cela va de soi, la pression à obtenir étant relativement faible; pour le compresseur aspirateur aval, les disques portant les palettes étant destinés à tourner dans des milieux où s'établit un vide relatif, on se rendra compte que le travail à vide sera très sensiblement diminué et, par conséquent, le rendement du compresseur aspirateur se trouvera par ce fait là même augmenté.

Il est intéressant également de signaler un brevet de M. de Chasseloup-Laubat, facilitant l'application à la marine de cette turbine à détentes parallèles de gaz et de vapeur. Cette invention a pour but de permettre au gaz et à la vapeur de s'échapper séparément, sans qu'il y ait possibilité de mélange des gaz, dans la vapeur en communication avec un condenseur.

M. de Chasseloup-Laubat, prévoit entre les compartiments d'échappement de gaz et les compartiments d'échappement de vapeur, un compartiment intermédiaire qui sera mis en communication avec une capacité où l'on fera le vide par un moyen quelconque, de manière que la pression très faible qui y règne soit inférieure au moins à la plus petite des pressions qui existent dans les compartiments d'échappement, c'est-à-dire à la pression de vapeur après utilisation.

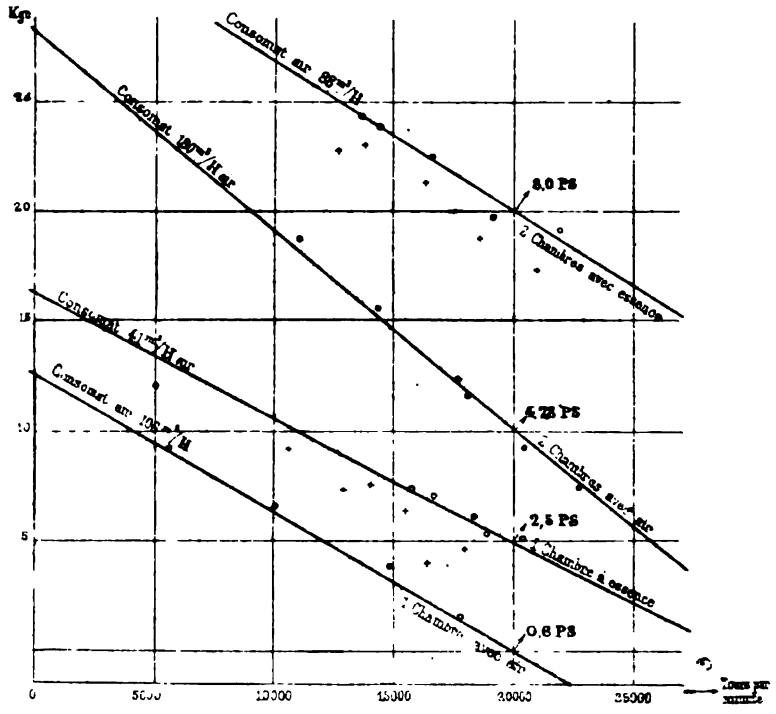
Essais.

La machine sur laquelle les essais ont été poursuivis était constituée par une ancienne turbine Laval de 25 ch, dans laquelle on avait substitué un conduit d'air sous pression au conduit d'arrivée de vapeur. Un compresseur à grande vitesse, dont nous connaissions exactement le rendement, alimentait d'air la chambre de combustion à la pression voulue. Des chambres de combustion dans le prolongement des tuyères constituaient le générateur à courant continu et à pression constante. A l'entrée de chaque chambre de combustion, le pétrole mélangé à l'air était allumé par la mise en marche seulement par un fil de platine incandescent. Les gaz brûlaient en traversant une gaine de carborandum et développaient une température de 1 800 degrés. Celle-ci était ensuite abaissée par une introduction de vapeur

formée dans un serpentin entourant une partie située dans le prolongement même de la chambre de combustion. Cette vapeur se mélangeait au gaz avant leur détente en quantité, telle qu'à la sortie de la tuyère le mélange soit à 400 degrés. Cette machine d'essai, dont les différents éléments n'avaient pu être calculés préalablement, ni appropriés rationnellement, a donné malgré cela, des résultats favorables; elle a surtout permis de préciser

Fig. 5. — Caractéristique du turbo-Moteur

Puissance P=0 0002 Pn



Travail à vide = 3 HP
pour n = 20000
Combustion imparfaite

les conditions nécessaires à un bon rendement et d'établir les règles suivant lesquelles devait être réalisée une machine de puissance plus élevée. Il a été possible également de constater la parfaite conservation des chambres de combustion, du disque, du pulvérisateur allumeur et des tuyères. Cette turbine a également mis en évidence la possibilité d'entretenir constamment une très haute température dans une partie de la chambre dite

de combustion, et d'obtenir, au moyen de ce foyer intense, une combustion parfaite de n'importe quel combustible.

La figure 5 représente des courbes mettant en évidence l'intervention du pétrole comme agent moteur.

Les courbes de l'énergie recueillie, d'une part avec l'alimentation à l'air seulement, d'autre part avec une alimentation au gaz, font ressortir qu'à pression égale cette énergie est sensiblement doublée dans le deuxième cas, tandis que la consommation d'air se trouve réduite de moitié, c'est-à-dire que l'intervention du pétrole a quadruplé l'énergie d'un même volume d'air.

Ces caractéristiques étaient rectilignes, mais on remarque cependant que certains points s'écartent même de beaucoup de ces caractéristiques. Ce fait était dû à la combustion souvent imparfaite à nos débuts, et c'est pourquoi nous avons été conduits à perfectionner notre pulvérisateur. Grâce à ce perfectionnement, toutes les combustions fumeuses et incomplètes ont disparu, ainsi qu'il a été facile de le constater par l'analyse des gaz recueillis.

Nous avons porté sur la figure 6 l'énergie recueillie par mètre cube d'air, en marchant dans des conditions différentes entre 3 et 10 kg, le nombre de tours de la turbine étant maintenu constant. Ces courbes s'infléchissent à partir de 5 kg, parce que le disque de notre turbine d'essais était approprié pour une vitesse réduite, et que de ce fait il recueillait de plus en plus mal l'énergie résultant des plus grandes vitesses. Ces courbes, à première vue, ne semblent pas très favorables, mais il faut en trouver l'explication dans ce fait que la turbine n'avait qu'un rendement de 35 0/0.

La courbe corrigée par l'emploi d'une turbine appropriée à chaque pression est représentée en OA sur la même feuille.

Les essais 1, 2, 3, 4 et 5 ont été poursuivis avec des chambres de formes différentes et avec des tuyères corrigées ou non; c'est ce qui explique la diversité de ces cinq courbes.

La figure 7 montre comment varie le rendement économique de cette turbine avec introduction de vapeur dans la chambre de combustion, en fonction de la pression d'amont et de la température d'aval des gaz. Elle a été calculée en admettant un rendement de 60 0/0 à la turbine et 80 0/0 au compresseur.

On voit que ce rendement augmente, d'une part avec les pressions, et d'autre part avec les températures. Il faut donc,

Fig. 6

Courbes 1 à 5 de l'énergie reccueillie par mètre cube d'air en employant différentes chambres de combustion

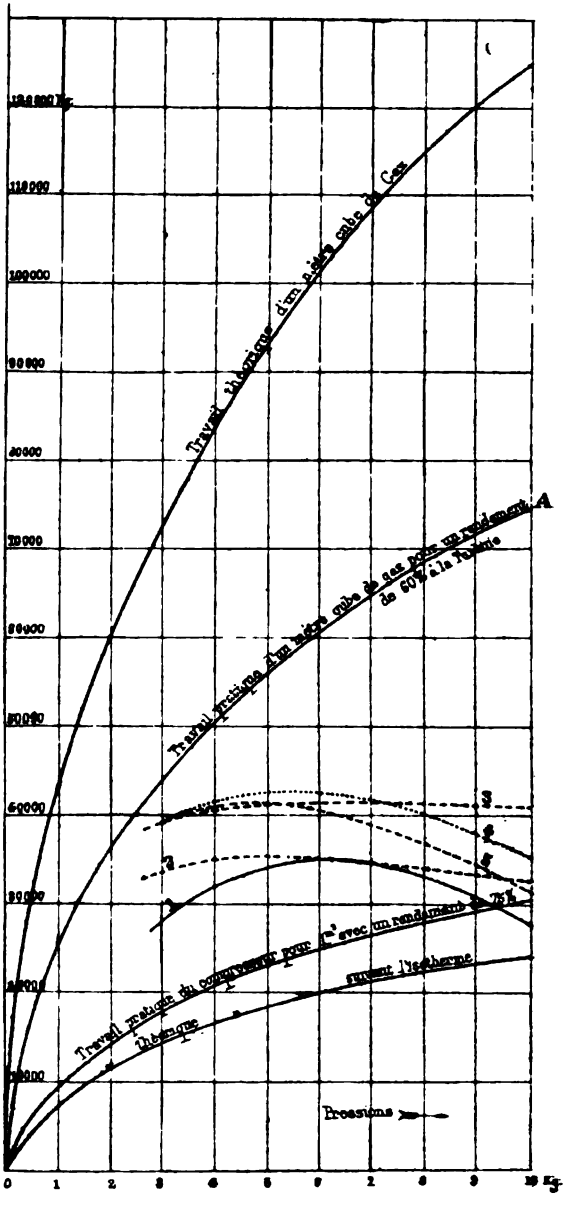
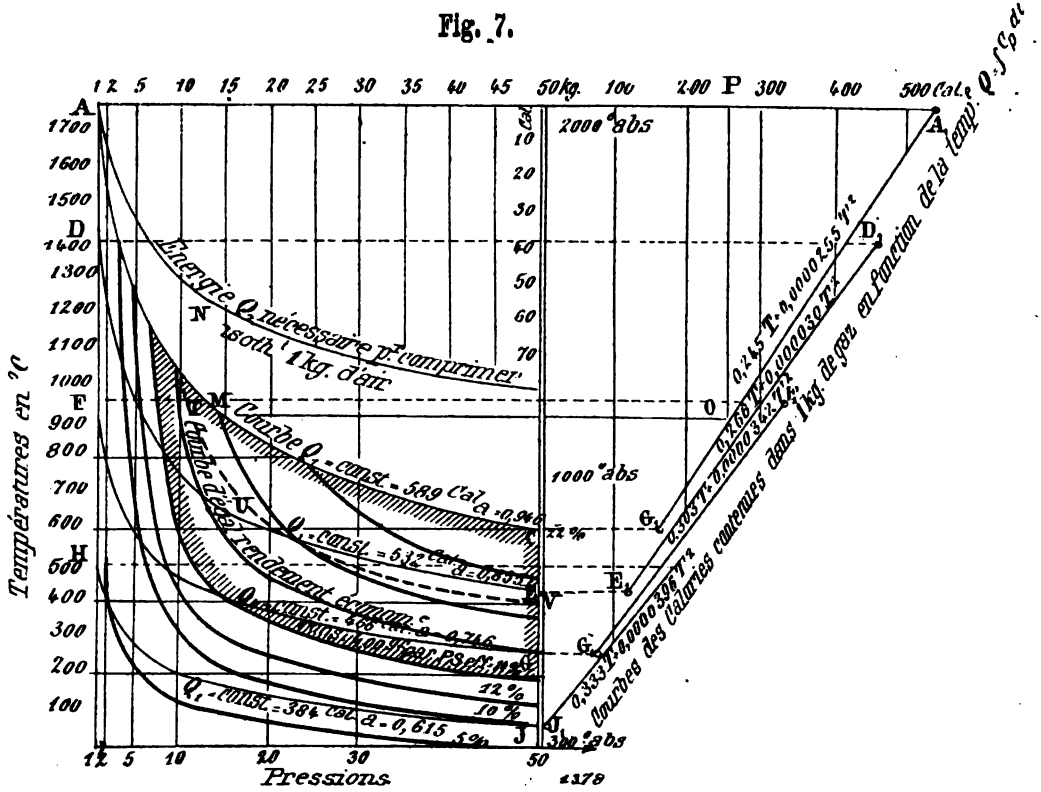


Fig. 7.


Températures en °C
Pressions
Energie Q nécessaire pr comprimer 1 Kg. d'air
Courbe Q = const = 589 Cal a = 0,946
Courbe Q = const = 384 Cal a = 0,615
Courbe Q = const = 268 Cal a = 0,430
Courbe du meilleur rendement
Courbes des Calories contenues dans 1 Kg. de gaz en fonction de la temp.
2000° abs
1000° abs
300° abs
22 %
12 %
10 %
5 %
A
D
E
H
J
M
N
O
P
V

pour obtenir le rendement le plus favorable, supprimer le refroidissement avant détente, c'est-à-dire l'introduction d'eau dans la chambre, et refroidir les gaz le plus possible par détente seulement.

Ce rendement économique est défini par le rapport entre la puissance disponible sur l'arbre et la dépense qui lui correspond, représentée par le pétrole consommé.

Pour évaluer les différentes grandeurs qui interviennent dans la formule du rendement, choisissons comme unité la calorie. Soient donc par kilogramme de fluide parcourant le cycle de la turbine :

Q^1, Les calories apportées par le pétrole dans la chambre ;

Q^2, L'équivalent calorifique de l'énergie fournie à la turbine sous forme d'air comprimé ;

Q^3, La chaleur rejetée à l'échappement ;

Q^4, L'équivalent calorifique du travail de compression isothermique de l'air ;

η_1 Le rendement total de la turbine ;

η_2 Le rendement total du compresseur par rapport à l'isotherme.

Le rendement économique prend la forme suivante :

$$\rho = \frac{(Q_1 + Q_2 - Q_3)\,\eta_1 - \dfrac{Q_4}{\eta_2}}{Q_1}.$$

La figure 8 représente le diagramme de cette turbine.

L'énergie nécessaire au compresseur polycellulaire annexe pour comprimer un kilogramme d'air de l'état A à l'état B est représenté

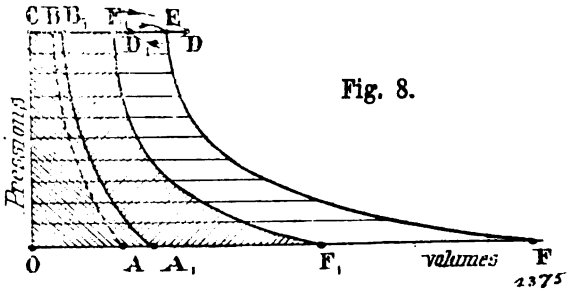
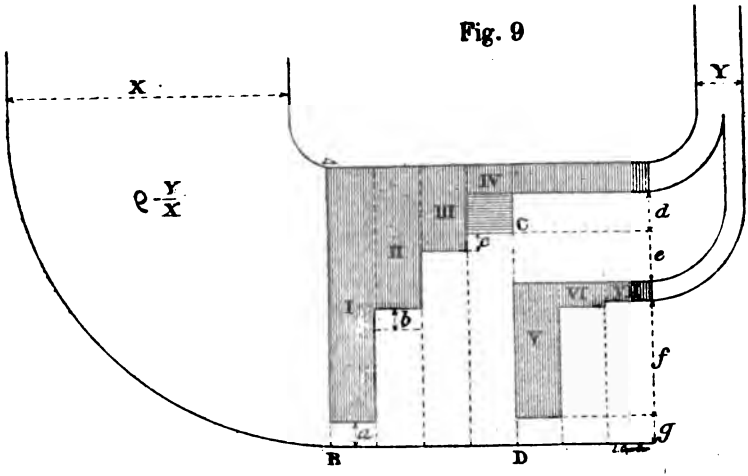


Fig. 8.

théoriquement par la surface OABC et effectivement par la surface O AI, BI, C. En réchauffant de 1 800 degrés centigrades et à la pression constante, cette masse d'air, par suite de l'introduc- d'une masse de pétrole, son volume augmente de CB à CD.

L'introduction de la vapeur d'eau a pour effet, d'une part, en abaissant la température, de diminuer le volume du kilogramme d'air considéré, de CD à CD', mais, d'autre part, d'augmenter par sa masse le volume de ce kilogramme, qui de CD' devient CE. L'énergie théoriquement disponible à la sortie de la chambre

Fig. 9



I. Énergie actualisée par la combustion du pétrole.
II. Énergie cinétique disponible à la sortie des tuyères.
III. Énergie recueillie par le disque de la turbine.
IV. Énergie recueillie, déchet du compresseur dédui
V. Énergie récupérable et contenue dans la vapeu .
VI. Énergie utilisable par détente de la vapeur.
VII. Énergie recueillie par le disque de la turbine.
X. Énergie apportée par le pétrole.
Y. Énergie transformée en travail indiqué.
a. — Pertes par rayonnement de la chambre.
b. — Pertes dans les tuyères.
c. — Pertes dans le compresseur.
d. — Travail théorique de compression.
e. — Pertes par rayonnement de la machine.
f. — Pertes à l'échappement par la vapeur.
g. — Pertes à l'échappement de gaz.

est donnée par OFEC. En tenant compte du rendement de la turbine et du travail absorbé par le compresseur, il reste la surface A'F'E'B' comme énergie effectivement disponible.

La figure 9 représente le bilan thermo-dynamique d'une turbine avec récupération de vapeur. Cette représentation élégante due à M. Barbezat, Ingénieur de la Société des Turbo-Moteurs, permet de se rendre compte d'une façon très explicite quel peut être le rendement d'une pareille turbine. Cette figure

montre en particulier très clairement l'apport en énergie dû à la vapeur.

L'énergie introduite dans la turbine sous forme de pétrole est représentée par un courant X dont la largeur mesure l'intensité. Ce courant d'énergie se transforme dans la turbine de façon telle, que la partie Y seulement peut être recueillie sous forme d'énergie mécanique.

En abscisse, nous avons porté les différentes étapes de notre calcul en ordonnées, la valeur de l'énergie évaluée en calories.

Des calories disponibles CD, les calories V ont été transformées en vapeur, laquelle en abandonne la fraction VII au disque sous forme de travail. De même la turbine à gaz proprement dite ne peut utiliser que la fraction IV des calories disponibles I ou dépensées AB.

Le rendement thermo-dynamique sera :

$$\varphi = \frac{\text{II} + b - d + \text{VI}}{\text{X}}.$$

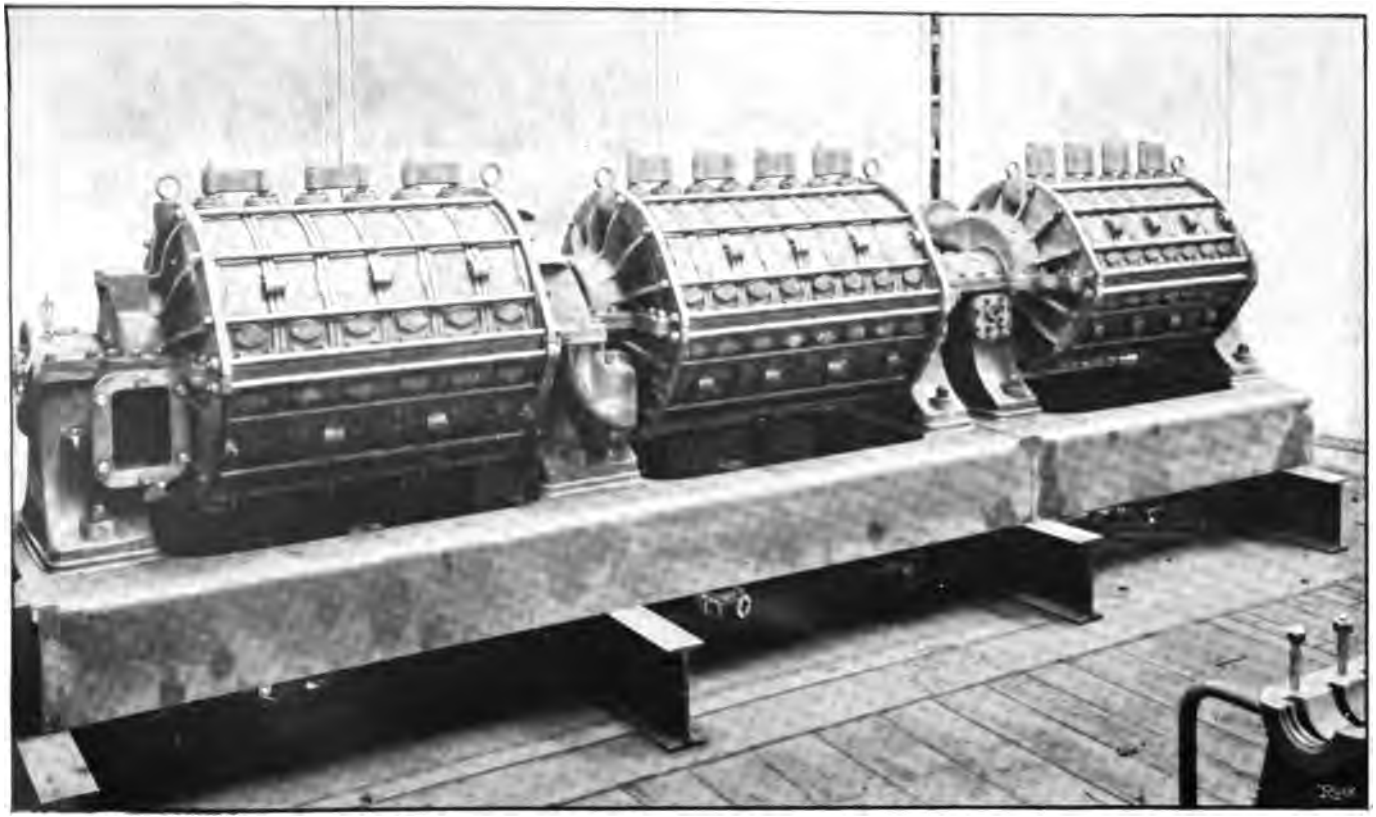
Le rendement économique

$$\text{R} = \frac{\text{Y}}{\text{X}}.$$

Je vais vous donner maintenant un aperçu général de la turbine proprement dite actuellement achevée, et qui est une reproduction en partie des principes appliqués ou essayés dans notre machine d'essais. Cette turbine est du genre Curtis; elle pourra fournir 300 ou 600 ch indiqués, suivant que tout l'air débité par le compresseur ou la moitié seulement débité par celui-ci alimentera la turbine. Le nombre de tours est de 4 000 par minute. Le réglage se fait par étranglement des conduits d'arrivée de l'air d'abord pour de faibles variations de charge, et du pétrole ensuite pour les variations de charges plus importantes. La commande des vannes se fait au moyen d'un régulateur Hartung.

L'alimentation de l'eau et du pétrole se fait au moyen de deux pompes, callées toutes deux sur l'arbre de la turbine. Cette machine est prévue, soit que l'on introduise dans la chambre toute la vapeur qui serait produite dans le récupérateur et dans les enveloppes, soit encore qu'on l'utilise, détendue au moyen de tuyères spéciales sur les aubes de la turbine.

La chambre de combustion est formée d'une gaine en carbo-



Compresseur ventilateur Rateau-Armengaud.

randum (carbure de silicium) maintenue dans une enveloppe en fonte entourée elle-même d'une enveloppe d'eau ou d'air. Entre le carborandum et l'enveloppe de fonte se trouve une matière calorifuge légèrement compressible, capable, tout en soutenant le carborandum contre la pression intérieure, de compenser les différences de dilatation de ces deux corps. L'extrémité de la chambre et des tuyères est entourée d'une circulation d'eau et de vapeur; le profil des tuyères est divergent comme celui des tuyères de la turbine de Laval. Elles sont à égalité de chute de pression moins longues que ces dernières. La détente complète s'opère en une seule fois, afin qu'à l'arrivée sur les aubes les gaz soient à une température suffisamment basse.

L'air nécessaire à la turbine est fourni par un compresseur polycellulaire du système Rateau et Armengaud, construit par MM. Brown et Boveri de Baden. Il est constitué par plusieurs éléments semblables réunis en série et construits de façon à pouvoir supporter de grandes vitesses périphériques.

Chaque élément se compose de deux parties essentielles : la roue à palettes et le diffuseur. Le diffuseur a pour but d'obtenir des sections d'écoulement de plus en plus grandes, afin de réduire convenablement la vitesse absolue de l'air à la sortie de la roue à palettes et de transformer ainsi l'énergie cinétique ou force vive du fluide en énergie potentielle ou pression. Il est formé par le prolongement dans le sens radial des deux parois du disque (celles-ci pouvant être indifféremment fixes ou mobiles).

Le rendement de ce compresseur sera au minimum de 65 0/0 par le fait d'un perfectionnement qui consiste à refroidir l'air sur son parcours et au fur et à mesure de sa compression. Ce perfectionnement améliorera le rendement de ce compresseur, puisqu'il permettra pour ce genre de machine de se rapprocher de très près du mode de compression isothermique. On concevra très bien que toute amélioration de rendement pour ce genre de compresseur aura sa répercussion sur la valeur économique de la turbine.

Il en sera de même si l'on fait jouer, à l'un des corps de ce compresseur, le rôle de ventilateur aspirateur, cas du reste que nous avons envisagé dans nos futurs essais.

Je citerai également comme nouveaux perfectionnements apportés aux turbo-compresseurs ceux qui leur permettent, par exemple, d'atteindre de bien plus grandes vitesses périphé-

riques, de diminuer leur longueur, de réduire le travail à vide, etc.

Dans l'état actuel des choses, et étant données toutes les longues études qui ont été poursuivies sur ce genre de machines, turbine proprement dite et turbo-compresseur, je suis tenté de croire que la turbine mixte à combustion prendra certainement une place importante parmi les transformateurs d'énergie.

Dès son apparition, le rôle des constructeurs sera de la perfectionner en s'inspirant de tous les progrès réalisés si rapidement sur les turbines à vapeur.

II

NOTE

DE

M. Jean REY.

Le problème général des turbines à gaz est fort étendu, comme M. L. Sekutowicz l'a indiqué dans son intéressant mémoire.

Les turbines à gaz peuvent comprendre, en effet, soit les turbines à gaz proprement dites, c'est-à-dire n'employant que des gaz brûlés mélangés d'air, soit les turbines à gaz multiples comprenant, en même temps que le gaz chaud, l'injection d'autres gaz ; soit, enfin, les turbines à mélange, avec de la vapeur d'eau ou même des vapeurs d'autres liquides.

M. Sekutowicz a décrit les divers modes d'action de ces différentes combinaisons, en définissant, théoriquement du moins, un grand nombre de systèmes de turbines à gaz.

Dans les considérations qui suivent, nous n'avons en vue que la turbine à gaz proprement dite, c'est-à-dire la turbine utilisant les gaz brûlés provenant d'un combustible liquide ou solide, additionné d'air dans une certaine proportion.

Parmi tous les systèmes que l'on peut concevoir de turbines à gaz proprement dites, nous examinons de préférence la turbine à gaz à compression, dans laquelle le foyer est alimenté par de l'air comprimé produit par la machine elle-même. Cette combinaison a donné lieu, jusqu'ici, à la plupart des travaux théoriques et des brevets publiés.

Dans l'état actuel de la mécanique pratique, peut-on construire une turbine à gaz ainsi définie, ne conduisant pas à des dispositifs trop compliqués, et offrant un rendement acceptable?

Il convient pour cela d'examiner tout d'abord l'appareil sans lequel le problème est insoluble : le compresseur.

Choix du compresseur.

La turbine à gaz à compression n'est pratiquement acceptable que si l'on emploie un compresseur rotatif commandé par la

turbine elle-même et placé en prolongement sur le même arbre.

Il est impossible, en effet, de recourir à des compresseurs à piston ; ces appareils ne sont pas susceptibles d'une grande vitesse de rotation, et comme la puissance qu'ils absorbent est du même ordre de grandeur que la puissance utile disponible sur l'arbre de la turbine, puissance qui résulte elle-même de la différence entre la puissance fournie par la turbine et celle absorbée par le compresseur, on arriverait ainsi à des transmissions par engrenages, ou par tout autre mode, entre l'arbre de la turbine et l'arbre du compresseur, absolument inacceptables dans la pratique.

En second lieu, l'emploi d'un compresseur à piston enlèverait à la turbine à gaz toute sa raison d'être ; cet appareil sera toujours plus encombrant et plus lourd que la turbine elle-même ; il comportera une transmission de mouvements des plus difficiles à réaliser avec un rapport de vitesse allant de 15 à 30 et même au delà.

Enfin, le compresseur à piston, lorsqu'il s'agit de fortes compressions, est loin d'atteindre les rendements que l'on indique d'ordinaire dans les traités. Les chiffres que nous avons pu recueillir indiquent qu'en pratique courante, il ne faut pas compter sur un rendement mécanique dépasssant 65 à 70 0/0, dès que l'on veut comprimer au-dessus de 12 à 15 kg par centimètre carré.

Les grands compresseurs de mines, étudiés avec le plus grand soin, ne donnent pas un rendement global, machine à vapeur et compresseur, qui atteigne 40 0/0 de l'énergie totale renfermée dans la vapeur ; un chiffre de 35 0/0 est déjà très recommandable. Comme les machines à vapeur qui commandent de tels compresseurs, construites pour la condensation et généralement bien étudiées, ont un rendement total de 55 à 60 0/0, on voit que le rendement propre du compresseur peut être évalué entre 58 et 64 0/0, même dans le cas de basses pressions. Nous estimons qu'un rendement de 70 à 75 0/0 pour le compresseur est, en marche courante, déjà très satisfaisant, et quant à un rendement de 80 0/0, nous ne pensons pas qu'on l'obtienne normalement, en service courant, dès que la machine ne sort plus des mains des constructeurs.

Si nous insistons sur ce point, c'est que le rendement du compresseur, comme l'a fort bien montré M. Sekutowicz, est

2310

2311

le point capital de la combinaison qui constitue une turbine à gaz.

Ces diverses raisons montrent qu'il n'est pas possible de songer au compresseur à piston, et qu'il faut forcément recourir au compresseur rotatif.

On parle beaucoup de compresseurs rotatifs, mais bien peu d'Ingénieurs ont eu l'occasion de pratiquer ces appareils.

Les compresseurs à pistons rotatifs n'ont donné, jusqu'ici, que des déboires; aussi s'est-on tourné, depuis quelques années, vers la forme ventilateur multicellulaire, qui permet d'obtenir déjà les pressions usuelles dans des conditions favorables de rendement et de fonctionnement.

En France, nous ne connaissons jusqu'ici qu'un seul exemple important de compresseur multicellulaire : c'est celui que représentent les figures 1 et 2, et qui a été construit pour la Société des Mines de Béthune, par MM. Sautter, Harlé et C^ie^, sur les idées de M. Rateau. C'est à la bienveillante insistance de la Compagnie des Mines de Béthune et de son directeur général, M. Mercier, qu'est due la création de ce nouvel engin, dont la construction paraissait présenter, au début, des difficultés insurmontables.

Le compresseur en question est constitué par quatre corps de compression, renfermant au total 32 roues réunies en série. Ces corps sont placés par groupe de deux, sur deux arbres commandés chacun par une turbine à vapeur.

La disposition sur deux arbres était indiquée par les conditions mêmes que devaient remplir les turbines à vapeur. S'il s'agissait d'une turbine à gaz, il y aurait lieu de placer tous les corps sur un seul arbre, celui de la turbine.

Le premier corps aspire à l'atmosphère et comprime à la pression de 1,7 kg absolu; le deuxième corps atteint 2,9 kg absolus, le troisième 4,9 kg absolus, et le quatrième la pression de 7,2 kg absolus par centimètre carré.

Entre chacun des corps de compression se trouve placé un réfrigérant tubulaire où l'air comprimé se refroidit au contact d'un courant d'eau.

La puissance absorbée par le compresseur est d'environ 400 ch sur les deux arbres, soit 200 ch par arbre.

L'appareil a été construit pour comprimer 1 kg d'air par seconde, aspiré à la pression atmosphérique, et il a pu aspirer jusqu'à 1,25 kg; à la vitesse de 4 500 tours par minute, la com-

pression atteint un peu plus de 6 kg effectifs ou 7 kg absolus: en forçant la vitesse, on a pu atteindre jusqu'à 7,2 kg effectifs ou 8,2 absolus.

Dans chaque corps, la compression peut être considérée comme s'opérant suivant le mode adiabatique. La rapidité de passage de l'air dans l'appareil et la faible perte par refroidissement montre que, pratiquement, il s'agit bien de l'adiabatique et non de l'isotherme.

Dans les expériences assez précises qui ont été faites, l'air comprimé entrait dans chaque corps à la température de 20 degrés environ et en ressortait à la température de 96 degrés environ; l'air était ensuite refroidi et ramené à la température d'entrée dans un réfrigérant tubulaire, parcouru par un courant d'eau.

Le rendement de l'appareil a été mesuré en comparant la différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de chaque corps, à la différence calculée d'après le mode de compression adiabatique. Il est évident, en effet, que toutes les pertes internes de chaque corps produisent une élévation de température de l'air, qui s'ajoute à la température due à la compression adiabatique. Le rapport de chaleurs spécifiques restant à peu près constant, il est facile de faire le calcul en question et l'on peut en déduire, à très peu de chose près, le rendement de chaque corps.

On a trouvé ainsi, pour le premier corps, à l'aspiration, un rendement d'environ 70 0/0, et pour le quatrième, qui donne la compression maximum, un rendement d'environ 55 0/0. La moyenne des quatre corps donne à peu près 63 0/0 de rendement.

Comme on a pu mesurer exactement le débit de l'air aspiré, et, par suite, son poids, au moyen d'une buse convergente placée à l'aspiration, il a été facile de calculer le travail absorbé par l'appareil en le déduisant du travail théorique et du rendement interne que nous venons d'indiquer. Le rendement interne calculé ne diffère du rendement vrai que par les frottements des paliers qui sont fort peu de chose dans l'appareil en question, comme, d'ailleurs, dans toutes les turbo-machines bien construites.

Cette méthode de calcul du rendement a été d'ailleurs vérifiée par les mesures précédemment effectuées sur la turbine à vapeur motrice, dont la puissance était connue.

Au point de vue des dimensions, si l'on ne tient pas compte de la turbine à vapeur placée en bout d'arbre, on constate que chaque corps, avec ses paliers, représente environ 2 m de longueur, soit pour les quatre corps, supposés placés sur le même arbre, 8 m de longueur.

Il est facile de se rendre compte, d'après ces chiffres, que si l'on voulait exécuter une turbine à gaz accompagnée d'un tel compresseur, le poids et l'encombrement du compresseur seraient beaucoup plus considérables que ceux de la turbine elle-même.

Observons enfin que la vitesse de l'appareil est déjà de 4 500 tours par minute, et que si l'on place sur le même arbre une seule turbine, cette dernière ne pourrait pas commander une génératrice d'électricité, et encore moins une hélice de bateau ; la vitesse serait donc une difficulté des plus sérieuses.

D'autre part, il ne faudrait pas se figurer que l'on puisse réduire beaucoup les dimensions d'un tel compresseur ; la division en plusieurs corps est obligée à cause des vitesses périphériques qu'il faut donner aux diverses roues et des efforts centrifuges qui en résultent. On ne peut donc pas placer un grand nombre de roues en série sur le même arbre sans solution de continuité, car il faudrait donner à l'arbre de fortes dimensions et l'on n'aurait plus alors la section nécessaire pour l'entrée de l'air dans l'ouïe de chaque roue. On pourrait, il est vrai, chercher à faire cette construction au moyen d'arbres flexibles de faible diamètre, mais tous les essais tentés jusqu'ici dans cette voie ont échoué.

Notre avis est qu'il sera difficile d'améliorer considérablement le rendement mécanique déjà remarquable obtenu dans les compresseurs multi-cellulaires, et tout aussi difficile de réduire leur encombrement ainsi que la vitesse de rotation qui leur est nécessaire. On fera certainement quelques progrès dans cette voie, mais ils ne nous paraissent pas de nature à permettre d'atteindre ce qu'il faudrait obtenir pour rendre la combinaison d'une turbine et d'un tel compresseur vraiment pratique.

Quant aux compresseurs multicellulaires permettant d'obtenir les compressions indiquées dans le mémoire de M. Sekutowicz, c'est-à-dire 30, 40 ou 50 kg, ils nous paraissent impossibles à réaliser avec les dispositifs connus.

Le compresseur de Béthune est déjà un appareil très perfectionné ; il a été construit sur les données expérimentales recueil-

lies à l'aide d'un certain nombre d'appareils de plus faible puissance, ainsi que sur les résultats d'essais très nombreux faits dans les conditions les plus variées. Ce n'est donc pas, comme on pourrait le croire, le premier exemplaire d'une machine entièrement nouvelle, et bien que l'on puisse escompter, dans l'avenir, une amélioration du rendement, il ne faudrait point croire que ce rendement dépassera de beaucoup celui déjà obtenu.

Construction de la turbine à gaz.

M. Sekutowicz, dans son mémoire, estime que les turbines à gaz devront avoir un rendement au moins aussi favorable que les turbines à vapeur.

Nous ne partageons pas, sur ce point, entièrement sa manière de voir. Il est certain que les frottements d'une turbine à gaz seront moins importants que ceux d'une turbine à vapeur, le nombre de roues étant moins élevé pour la même puissance et la même vitesse angulaire. Mais, d'autre part, il ne faut pas perdre de vue que la vitesse absolue du gaz moteur arrivant sur la roue sera toujours plus élevée que dans une turbine à vapeur et que, par suite, à égalité de vitesse angulaire et de vitesse périphérique, le rendement hydraulique de la roue sera moins bon. Donc, si on gagne sur les résistances passives, on perdra certainement sur le rendement hydraulique.

La turbine à gaz a un autre défaut : elle oblige à la détente préalable du fluide avant son arrivée sur les roues ; cette détente est nécessaire pour ne pas mettre en contact les aubages mobiles avec des gaz à une température trop élevée. Or, si l'on détend complètement le fluide avant son arrivée sur la roue, on ne peut plus construire une turbine à pression étagées, mais seulement à vitesses étagées. Nous avons indiqué la différence qui en résulte pour le rendement, dans le mémoire que nous avons présenté à la Société des Ingénieurs civils en 1904. Depuis lors, M. Rateau a donné le détail de cette théorie dans une communication au Congrès de mécanique à Liège.

Une dernière observation a trait à la température des gaz à leur arrivée dans les roues mobiles. M. Sekutowicz estime que l'on peut se baser sur une température de 700 degrés absolus, soit 427 degrés centigrades. Nous croyons ce chiffre bien élevé.

L'expérience des constructeurs de turbines à vapeur montre

combien il est difficile de réaliser des turbines ayant une vitesse périphérique un peu forte, lorsque la température de la vapeur surchauffée dépasse 300 degrés centigrades.

Nous ne connaissons pas une seule turbine fonctionnant pratiquement avec de la vapeur à 400 degrés, et nous savons les difficultés que les constructeurs ont rencontrées pour trouver des métaux ou des alliages qui puissent résister, d'une manière durable, à la vapeur surchauffée. Il ne s'agit pas, en effet, seulement de résister pendant les essais de réception ou pendant quelques mois, mais de créer une machine vraiment industrielle. Il a fallu rejeter successivement les alliages renfermant du cuivre et la formule actuelle est de n'employer que de l'acier au nickel à des teneurs élevées. Certains aciers au nickel, à basse teneur, ont montré, au bout de quelques mois, une modification complète de leurs propriétés, sous l'action prolongée de la vapeur surchauffée, même au-dessous de 300 degrés ; le métal se cristallise par la formation successive de martensite, et les aubages finissent par se détruire.

La température de 427 degrés centigrades dépasse, pour le moment, la limite qu'il est possible d'atteindre en marche industrielle.

Calcul du rendement pratique d'une turbine à gaz à compression.

Pour établir le rendement pratique d'une turbine à gaz à compression, nous laissons de côté toutes considérations empruntées à des cycles d'une nature quelconque. En général, l'application du théorème de Carnot à des cycles donnés à l'avance, conduit à des conclusions très éloignées des résultats que l'on obtient dans la réalité.

Notre calcul est beaucoup plus simple : nous nous donnons la température de détente des gaz arrivant dans la turbine, ainsi que le degré de compression que peut fournir pratiquement un compresseur rotatif multicellulaire. Partant de ces deux données, il est facile de calculer l'énergie théorique absorbée par 1 kg d'air comprimé, ainsi que l'énergie théorique que peut fournir le même kilogramme de gaz brûlés détendu dans la tuyère de la turbine.

En affectant à ces deux travaux le coefficient de rendement de chacun des appareils, et en en retranchant les deux résultats

ainsi obtenus, nous arriverons au travail utile réellement disponible sur l'arbre de la machine par kilogramme de gaz qui le traverse.

Il ne reste plus alors qu'à calculer le nombre de kilogrammes de gaz brûlés par kilogramme de combustible employé pour savoir le travail total fourni par 1 kg de combustible.

Pour calculer les travaux théoriques absorbés par 1 kg d'air dans le compresseur, et fournis par 1 kg de gaz brûlés entre deux limites de pression déterminées, nous employons les formules générales bien connues :

$$\int_{T_0}^{T_1} v\,dp = RT_0 \frac{K}{K-1}\left[\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1\right]$$

avec :

$$T_1 = T_0\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{K-1}{K}}.$$

Dans ces formules, la valeur de K est importante ; elle varie avec les températures entre lesquelles évolue le gaz.

Nous prenons comme limite de compression la pression de 6 kg effectifs ou 7 kg absolus, obtenue normalement dans le compresseur de Béthune.

Comme nous l'avons expliqué plus haut, nous ne croyons pas que cette limite soit assez dépassée, dans l'avenir, pour que les résultats de notre calcul en soient complètement modifiés.

Le rapport des pressions est donc égal à $\frac{7}{1} = 7$ pour l'air atmosphérique qui traverse le compresseur. La valeur de K entre 20 et 100 degrés est égale à 1,40.

Pour calculer la valeur de K dans la turbine, le problème est plus compliqué. Nous supposons qu'il s'agit, pour simplifier la question, d'une turbine alimentée avec du pétrole ordinaire fournissant 11 000 calories par kilogramme.

Un premier calcul que nous ne développons pas ici, nous permet d'établir la température de combustion de ce pétrole pour différents poids d'air employés. Dans ce calcul, nous avons pris, pour les chaleurs spécifiques des différents gaz, la valeur indiqué par MM. Mallard et Le Chatelier, c'est-à-dire une fonction linéaire de la température absolue. En prenant l'air extérieur à une température de 15 degrés centigrade, on trouve que, dans le cas de la combustion théorique, avec 15 kg d'air

dépensés par kilogramme de pétrole, la température absolue de combustion est de 2 300 degrés. Lorsque le poids d'air est de 25 kg par kilogramme de pétrole, correspondant à un poids total de gaz brûlés de 26 kg, la température de combustion descend à 1 720 degrés absolus.

Avec un poids de 35 kg d'air correspondant à 36 kg de gaz brûlés par kilogramme de pétrole, la température de combustion est de 1 381 degrés absolus.

Enfin, avec un poids de 45 kg d'air, soit 46 kg de gaz brûlés par kilogramme de pétrole, la température de combustion s'abaisse à 1 181 degrés.

Sur ces données, il devient possible d'établir une formule générale donnant le rapport des deux chaleurs spécifiques, dans un mélange de gaz brûlés dont le poids d'air entraîné en excès est la seule variable, ainsi que la température du mélange.

Pour calculer la température de combustion nécessaire avec la détente choisie, de façon que le gaz soit ramené à une température de 700°, il suffit de procéder par approximations successives à l'aide de la formule générale indiquée ci-dessus.

La valeur de T_0 étant égale à 700 degrés, la température T_1 varie naturellement avec la valeur de K ; cette valeur de K est elle-même fonction du poids d'air entraîné.

En effectuant le calcul, on arrive assez vite à cette conclusion qu'en partant d'une température de 1 140 degrés absolus, correspondant a un poids d'air entraîné de 47 kg par kilogramme de pétrole, soit un poids total de 48 kg de gaz brûlés, la détente avec le rapport de 7 donne la température finale de 700 degrés que l'on voulait obtenir. La valeur moyenne de K entre ces limites est 1,33.

Le travail théorique de l'air dans le compresseur est alors de :

$$Tc = 29{,}3 \times 288^{\circ} \frac{1{,}4}{0{,}4} \left[(7)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} - 1 \right]$$

$$T = 21\,800 \text{ kilogrammètres par kilogramme d'air.}$$

Le travail théorique des gaz brûlés dans la turbine est de :

$$Tt = 29{,}3 \times 700 \frac{1{,}33}{0{,}33} \left[(7)^{\frac{0{,}33}{1{,}33}} - 1 \right]$$

$$= 51\,300 \text{ kilogrammètres par kilogramme de gaz brûlé.}$$

Si le rendement du compresseur rotatif est de 65 0/0, cet appareil absorbe donc par kilogramme une puissance de :

$$\frac{21\,800}{0{,}65} = 33\,600 \text{ kilogrammètres.}$$

Comme rendement de la turbine, nous prenons la valeur de 65 0/0. Cette valeur pour les turbines à vapeur correspond déjà à d'excellents appareils, bien calculés, bien construits, et d'une puissance dépassant 1 000 chevaux.

On a obtenu il est vrai, avec les turbines à vapeur, des chiffres plus élevés, mais seulement pour des puissances beaucoup plus élevées. Nous ne connaissons pas, d'ailleurs, de rendements convenablement mesurés dépassant 70 0/0.

La valeur de 65 0/0 pour la turbine à gaz nous paraît déjà escompter l'avenir, puisque cet appareil n'aura probablement pas un rendement plus élevé que ceux d'une turbine à vapeur de puissance correspondante.

La puissance produite par kilogramme de gaz brûlés sera donc, dans une turbine à vapeur, de :

$$51\,300 \times 0{,}65 = 33\,400 \text{ kilogrammètres.}$$

On voit donc que le travail fourni par la turbine sera inférieur au travail absorbé par le compresseur.

Les valeurs de rendement que nous venons d'indiquer sont donc incompatibles avec un travail utile réellement fourni par la machine, dans le cas où la compression ne dépasse pas 7 kg absolus et lorsque la température de détente des gaz brûlés est de 700 degrés.

Même calcul en tenant compte de l'action des réfrigérants.

Dans le calcul précédent, nous n'avons pas tenu compte de l'action des réfrigérants tubulaires qui, dans le compresseur de Béthune, ramènent la température de sortie de chaque corps de compression à la valeur de la température ambiante.

L'action de ces réfrigérants tend à rapprocher la compression du mode isothermique en permettant d'obtenir ainsi un certain bénéfice sur le travail absorbé par l'appareil.

Le tableau ci-dessous indique les données expérimentales

relevées pendant l'un des essais. La pression barométrique pendant l'essai était de 1,042 kg.

	PRESSION absolue à l'entrée de chaque corps	PRESSION absolue à la sortie de chaque corps	TEMPÉRATURE de l'air à l'entrée de chaque corps	TEMPÉRATURE de l'air à la sortie de chaque corps	RENDEMENT interne de chaque corps
	kg	kg	degrés	degrés	
1er corps	1,042	1,709	14	79	0,683
2e corps	1,646	2,945	20,2	100,5	0,671
3e corps	2,910	4,992	18	95,5	0,639
4e corps	4,992	7,642	19	92	0,525

Le rendement interne moyen de l'ensemble de l'appareil, dans l'expérience précédente, est de 0,630.

En évaluant les fuites à 1/2 0/0 et les frottements extérieurs des paliers également à 1/2 0/0, soit au total 1 0/0, le rendement général de l'appareil, tout compris, est donc de 0,62 ; et si l'on calcule à l'aide des formules précédentes le travail théorique de chacun des corps, on trouve que la compression de l'air, dans les conditions du tableau, représente 18 650 kilogrammètres par kilogramme d'air comprimé. (1).

Le rendement général étant de 0,62, il en résulte que le travail absorbé sur l'arbre de l'appareil par kilogramme d'air est donc de 30 100 kilogrammètres.

D'autre part, le travail d'un kilogramme d'air dans la turbine, se détendant de la pression de 7,64 kg absolus, obtenue dans le dernier corps, à la pression atmosphérique et à la température de détente de 700 degrés, est de 52 800 kilogrammètres.

Le rendement de la turbine étant toujours supposé de 65 0/0, le travail disponible sur l'arbre de la turbine est donc de 34 300 kilogrammètres. Le travail final par kilogramme d'air est égal à la différence de 34 300 et de 30 100, soit 4 200 kilogrammètres.

Comme un kilogramme de pétrole fournit 48 kilogrammes de gaz brûlés, dans les conditions de détente et de température admises, on voit que le travail fourni par un kilogramme de pétrole est donc de 201 500 kilogrammètres. Ce chiffre représente

(1) Si la compression était rigoureusement isotherme à la température de 20° c., le travail théorique absorbé par kilogramme d'air serait dans les conditions de l'expérience citée de 17 100 kilogrammètres. On voit que l'emploi d'un réfrigérant tubulaire étagé réduit le travail théorique à une valeur assez voisine de la limite extrême.

un rendement thermique de 4,31 0/0, ou une consommation de pétrole de 1,340 kg par cheval effectif et par heure.

La comparaison du calcul que nous venons de faire et du calcul précédent, basé sur l'hypothèse d'une compression entièrement adiabatique, montre que l'emploi du réfrigérant tubulaire permet d'améliorer le rendement général de la turbine à gaz.

Malheureusement, le chiffre obtenu correspond encore à une consommation excessive et absolument hors de proportion avec les résultats que donnent les moteurs à pétrole usuels.

Calcul limité avec des rendements égaux à l'unité.

Si l'on suppose que le rendement du compresseur est égal à l'unité, ainsi que celui de la turbine, l'énergie disponible par kilogramme de gaz brûlés sera donc égale à la différence de 52 800 kilogrammètres fournis par la turbine et de 18 650 absorbés par le compresseur, soit 34 150 kilogrammètres.

Pour 48 kilogrammes de gaz brûlés, on retirera donc 1 638 000 kilogrammètres de la machine, ce qui correspond à un rendement thermique de 35 0/0 ou à une consommation de 165 grammes de pétrole par cheval effectif et par heure.

Il faut remarquer que le moteur Diesel, dans des essais parfaitement contrôlés, est descendu à une consommation de 175 grammes de pétrole par cheval effectif et par heure.

Donc, en supposant pour la turbine à gaz et pour le compresseur un rendement de 100 0/0, c'est-à-dire des conditions absolument théoriques et qui ne seront jamais réalisées, on ne peut pas espérer une consommation beaucoup meilleure que celle du moteur Diesel, dont la construction est maintenant industrielle.

Encombrement de la turbine.

Les chiffres précédents permettent de se rendre compte de l'encombrement de la machine.

Le compresseur de Béthune peut comprimer au maximum 1,25 kg d'air par seconde, soit 4 500 kilogrammes à l'heure.

D'autre part, chaque kilogramme de pétrole nécessite 47 kilogrammes d'air à l'heure dans les conditions qui ont servi de base aux calculs. La production du compresseur permettra donc de brûler 95,7 kg de pétrole à l'heure; à raison d'une consommation

de 1,340 kg de pétrole par cheval effectif et par heure, on voit donc que le poids de pétrole brûlé représentera une puissance de 72 chevaux.

Il suffit d'énoncer ces chiffres pour se rendre compte de l'encombrement vraiment exagéré d'une semblable machine, qui nécessitera quatre corps de compression avec réfrigérants, un corps entier de turbine accompagné de son foyer, pour un moteur donnant finalement 72 chevaux sur l'arbre.

Ajoutons que dans les calculs précédents nous n'avons tenu aucun compte des pertes par rayonnement, soit dans la turbine, soit dans le foyer, soit dans la tuyère de détente, pertes thermiques dont la valeur ne sera certainement pas négligeable.

En résumé, si l'on se place au point de vue pratique, il paraît évident que la combinaison d'une turbine à gaz et d'un compresseur rotatif ne permet pas, dans l'état actuel de la mécanique pratique, de réaliser un ensemble pouvant donner des résultats industriels.

Lorsqu'il s'agit de turbines à gaz proprement dites, c'est-à-dire de la combinaison la plus simple que l'on puisse imaginer, il ne semble pas que le principe de l'emploi d'une turbine à compression soit de nature à fournir la solution du problème.

III

NOTE

DE

M. G. HART.

Le mémoire de M. Sekutowicz, très intéressant par les idées qu'il suggère, fait, à son avis, toucher du doigt la nécessité d'expériences longues et délicates si on veut arriver à réaliser pratiquement et industriellement la turbine à gaz.

Il croit nécessaire de faire des réserves sur la théorie qu'essaie d'établir M. Sekutowicz. Il ne pense pas, en effet, que les lois de la thermodynamique qui, dans certains cas, ne correspondent pas toujours, même pour des températures inférieures à 300 degrés, aux réalités de la pratique, par suite des phénomènes parasites qui se manifestent toujours, puissent s'appliquer sans restrictions à des températures beaucoup plus élevées, comme celles qu'on rencontrera dans les turbines à gaz.

Il lui semble certain que la température absolue de 700 degrés admise par M. Sekutowicz et sur laquelle il a basé le tracé des cycles qu'il a donnés dans son travail, sera largement dépassée, et que, d'autre part, nous connaissons encore trop peu les lois de l'écoulement des gaz et des vapeurs pour qu'il soit possible de tenir compte des phénomènes parasites qui, dans la turbine à gaz, viendront sans doute modifier, comme dans la turbine à vapeur, les résultats obtenus.

Les calculs de M. Sekutowicz paraissent donc, au point de vue pratique, prêter fortement à la discussion. M. Hart pense que la seule voie féconde est celle indiquée par M. Barbezat et nos collègues de la Société des turbo-moteurs, la méthode expérimentale qui seule permettra d'étudier tous les phénomènes qui se manifesteront dans la turbine à gaz.

Dans celle-ci, comme dans la turbine à vapeur, des dispositions de détail, qui ne paraissent se relier que de fort loin aux lois de la thermodynamique, auront une influence très importante sur les résultats.

Aussi M. Hart est-il très reconnaissant à M. Barbezat des détails si intéressants qu'il a bien voulu donner sur ses travaux.

La méthode expérimentale seule permettra de trancher certaines questions sur lesquelles M. Sekutowicz paraît bien affirmatif.

C'est ainsi qu'il arrive à proscrire et à déclarer non intéressantes les turbines à explosion, pour des raisons de construction dont il serait sage de réserver le jugement jusqu'à ce que des essais suivis soient venus démontrer leur valeur.

Sans doute, dans ce cas, l'emploi d'une soupape d'aval viendra un peu compliquer la solution et peut-être la retarder, mais il n'y a pas là une impossibilité absolue, comme paraît le penser M. Sekutowicz. D'autre part, ce dernier invoque l'irrégularité du régime d'écoulement résultant d'une série d'explosions, mais cette irrégularité sera tout au moins fortement atténuée si on emploie des chambres d'explosions multiples fonctionnant en série.

La grosse difficulté est l'emploi d'un appareil de compression avec les turbines à gaz basées sur le principe du moteur à combustion. Celui-ci absorbe une part considérable du travail développé par la turbine, d'où chute de rendement considérable. De plus, ainsi que l'a montré M. Rey, l'appareil est encombrant et relativement compliqué. Il est cependant permis d'espérer qu'à bref délai on arrivera à réduire les dimensions du compresseur et aussi la quantité de travail qu'il absorbe. L'essai du compresseur en construction à Baden, chez Brown-Bouine sera à cet égard très intéressant.

D'autres difficultés se rencontreront d'ailleurs dans la construction des turbines à gaz. La vitesse de rotation qui, dans l'état actuel de la question, est considérable, présente, en raison des hautes températures rencontrées, des inconvénients sérieux, les métaux perdant, comme on le sait, une partie de leur résistance à haute température. Comme, d'autre part, les effets de la force centrifuge sont loin d'être négligeables et que les efforts supportés de ce chef par les pièces sont considérables, on voit qu'il y a là une difficulté peut-être longue à vaincre.

Le refroidissement des roues mobiles pourra bien atténuer, dans une certaine mesure, les effets des hautes températures, mais on risque de se heurter, si le refroidissement n'est pas exécuté d'une manière convenable, aux inégalités de dilatation qui sont une source d'avaries.

Il paraît plus simple, bien que ce soit difficile à réaliser pratiquement, d'abaisser la température du courant gazeux par

l'introduction de vapeur à température relativement basse, mais là encore on se heurte à des difficultés pratiques en ce qui concerne la condensation de la vapeur utilisée.

Enfin la construction même de la chambre d'explosion ou de combustion devient délicate dès que son volume est un peu considérable. Le mode de construction indiqué par M. Armengaud paraît très rationnel, mais M. Hart pense qu'il entraîne l'emploi de chambres multiples fonctionnant en série et régularisant par cela même l'écoulement du gaz, quand la turbine est un peu puissante.

On voit que la réalisation pratique de la turbine à gaz est encore assez éloignée. Il n'est pas douteux que, pour des raisons de facilité d'emploi, celle-ci ne supplante dans l'avenir la turbine à vapeur, comme les moteurs à explosion ou à combustion tendent à supplanter les machines à vapeur, mais nous n'en sommes pas encore là.

La réalisation pratique de la turbine à gaz est liée à une série de perfectionnements de détail, que seule la méthode expérimentale permettra d'étudier.

Les difficultés rencontrées sont d'ailleurs tout à fait analogues à celles rencontrées dans la réalisation de la turbine à vapeur, mais l'intervention des hautes températures les rendent encore plus difficiles à résoudre.

Sans doute, on construira dans un délai relativement court, des appareils d'essai très intéressants, témoignant de l'ingéniosité de leurs inventeurs, mais ils ne constitueront pas à proprement parler des appareils industriels auxquels on demande à la fois l'endurance et l'économie de fonctionnement.

Si l'évolution de la turbine à gaz est analogue à celle de la turbine à vapeur, comme cela est probable, il faudra de longues années pour réaliser une turbine à gaz industrielle, aussi ne pouvons-nous qu'être reconnaissants à ceux qui se lancent dans cette voie, et qui, en construisant des appareils d'essai nous aident à fixer nos idées et nous renseignent sur les difficultés d'ordre pratique à vaincre.

IV

NOTE

DE

M. L. LETOMBE

Pour qu'une machine thermique nouvelle présente de l'intérêt au point de vue industriel, il faut qu'elle satisfasse au moins à l'une des conditions suivantes : ou être plus économique de consommation, ou être plus simple que les machines existantes. Encore faut-il dans ce dernier cas, que la simplicité ne soit pas obtenue au détriment du rendement.

La turbine à gaz répond-elle à ces conditions ? C'est ce que nous allons examiner.

Voyons tout d'abord quel peut-être le fonctionnement d'une turbine à gaz.

Ce fonctionnement n'apporte rien de nouveau dans les moyens connus de transformation de chaleur en travail. Une turbine ne fait qu'utiliser le travail de détente des gaz tel qu'il se produit dans les moteurs à pistons, mais en passant par la transformation intermédiaire de ce travail de détente en énergie cinétique qui elle-même est retransformée en travail mécanique recueilli sur les aubes d'une roue mobile.

Par conséquent, au point de vue du rendement, comme aucune transformation ne se fait sans perte, il est évident que la turbine à gaz ne peut avoir à priori qu'un rendement inférieur à celui d'une machine à pistons marchant avec le même régime de compression, de combustion et de détente.

M. Sekutowicz a donc eu raison de commencer son exposé théorique par une étude générale des cycles, mais s'il avait tenu compte des travaux antérieurs faits sur le même sujet et si en particulier il avait pris connaissance de notre communication au Congrès de mécanique en 1900, il aurait pu écourter beaucoup ses calculs et se dispenser de certaines considérations sans intérêt.

Nous lui signalerons en passant que sa manière d'évaluer les travaux de compression ne correspond pas à ce qui se passe dans

les machines et que par conséquent certaines de ses déductions ne sont pas à retenir.

En ce qui concerne l'étude des cycles, quoi qu'en pense M. Deschamps, c'est encore en considérant le moteur à gaz comme un moteur à gaz chauds, ces gaz étant ceux de la combustion, et en leur appliquant rigoureusement les lois de la thermodynamique qu'on se rend le mieux compte de ce qui se passe, ou pourrait se passer, dans les machines. Ce n'est pas en amateur que nous donnons cette opinion, ni poussé par le vain désir de faire de la théorie quand même. Notre conviction est faite de plus de quinze années de pratique, au cours desquelles nous avons, tant comme constructeur que comme expert, relevé et disséqué des milliers de diagrammes.

Il est en effet remarquable que lorsqu'on prend comme valeur des chaleurs spécifiques des gaz évoluants, celle qui leur convient réellement, c'est-à-dire celle qui correspond aux températures développées et à la nature même des gaz évoluants, et que d'autre part on ne retient pour l'apport de chaleur dans les cycles, ainsi qu'il est logique de le faire, que le pouvoir calorifique inférieur des combustibles, déduction faite de la contraction des gaz après combustion, contraction qui équivaut à une véritable fuite de calories, il est remarquable, disons-nous, de constater que les résultats qu'on obtient ainsi sont dans tous les cas proportionnels à ceux qu'on trouve dans la pratique et même s'en éloignent peu en valeur absolue.

Dans des calculs de ce genre, il ne faut évidemment pas s'entêter à vouloir comparer le cycle réel de la machine avec un cycle de convention qu'elle ne réalise pas. C'est ainsi par exemple que, dans les moteurs qui marchent à très forte compression, le cycle à considérer (*fig. 1*) est un cycle mixte à explosion *be* et à combustion *ef* et non simplement un cycle à explosion. Il est en effet indispensable dans ce cas, d'obtenir des diagrammes légèrement arrondis qui limitent la hauteur d'explosion. C'est ce qui fait qu'avec certains gaz comme le gaz d'éclairage et encore plus avec le gaz à l'eau on est obligé de s'en tenir à des compressions relativement faibles si on ne veut

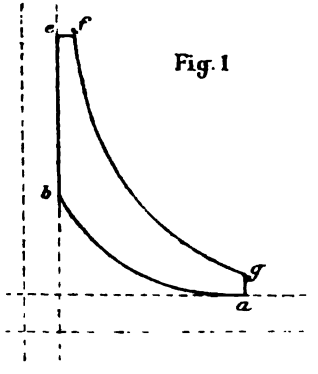


Fig. 1

pas risquer des ruptures d'organes, quand le mélange devient accidentellement trop riche.

Nous insistons sur ce point, parce qu'on a souvent donné comme preuve de l'inutilité des calculs théoriques la faible pression relative des explosions dans certains moteurs à gaz pauvre à forte compression. Si pour ces machines la pression ne monte pas au-delà d'une certaine limite, c'est parce que l'explosion se termine par une combustion qui, quoique durant très peu, absorbe néanmoins une grande quantité de chaleur qui se traduit d'ailleurs par une production de travail. Mais quand on s'en tient à des pressions modérées, on peut remarquer qu'avec les gaz riches on obtient précisément des explosions qui se rapprochent de ce que donne directement le calcul.

Du reste, le nombre de calories par kilogramme de gaz évoluant présent dans les cylindres au moment de l'inflammation, n'est pas en pratique si grand que semble le croire M. Deschamps, parce que ce n'est pas le mélange gazeux introduit qui compte pour la hauteur de l'explosion, mais tout le gaz qui se trouve dans le cylindre, y compris les gaz brûlés des espaces morts qui vient se mélanger à la charge et qui diminue le nombre de calories disponibles par unité de poids. Considérons par exemple, un moteur à gaz de ville ayant une compression de 5 kg et alimenté de gaz à 5000 calories ; la chambre de compression a dans ce cas, un volume d'environ 1/3 de la cylindrée. Le mélange le plus riche qu'on puisse pratiquement utiliser dans un tel moteur est un mélange qui contient environ 25 0/0 d'air en excès sur la quantité d'air strictement nécessaire à la combustion. Dans ce cas, le nombre de calories par kg réellement utilisable au moment de l'explosion se trouve n'être que d'environ 345. Avec ce chiffre on voit que théoriquement l'explosion ne peut dépasser 24 kg et c'est à peu près ce qu'on trouve en pratique avec un diagramme bien pointu.

Mais on peut marcher avec des mélanges beaucoup plus dilués. Ainsi, le gaz de ville avec un excès de 50 0/0 d'air détone encore parfaitement et, dans les mêmes conditions que ci-dessus, on n'a plus que 240 calories par kilogramme.

Pour une fois que la pratique et la théorie semblent d'accord, il serait excessif de prétendre que cette théorie est employée à tort.

Nous n'avons pas saisi la distinction qu'a voulu faire M. Armengaud entre une turbine à air chaud et une turbine à gaz, sous

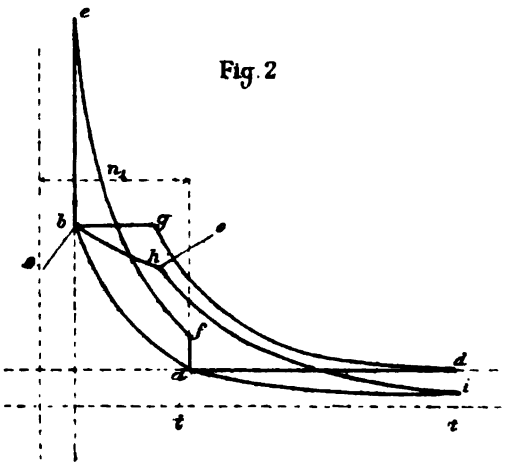
prétexte que l'une découlait de phénomènes physiques et l'autre de phénomènes chimiques.

Au point de vue brevet, il y a évidemment des différences à établir, mais au point de vue thermodynamique, il n'y en a aucune. D'ailleurs, brûler du charbon pour chauffer de l'air, pour quelque vulgaire que soit l'opération, c'est un phénomène chimique.

La valeur relative des différents cycles qui peuvent convenir aux moteurs thermiques peut se discuter en quelques instants et nous rappellerons à ce sujet un passage de notre communication au Congrès de Mécanique en 1900.

Nous avons démontré à cette époque (1) que *pour tous les cycles fonctionnant entre deux adiabatiques, l'une de compression, l'autre de détente, si l'adiabatique de compression est commune et que la chaleur pour chaque cycle est reprise comme elle est apportée (c'est-*

Fig. 2



à-dire avec la même valeur du coefficient de chaleur spécifique) le rendement thermique reste le même et a pour valeur celui d'un cycle de Carnot qui fonctionne entre les températures initiale et finale de compression (fig. 2).

Si nous considérons les cycles les plus usuels qui satisfont à cet énoncé, nous remarquons tout de suite que le cycle *abgd* qui correspond à une machine à compression et à combustion, exige une détente complète poussée jusqu'à la pression atmosphérique, pour n'avoir qu'un rendement égal à celui du cycle *abef*

(1) Contribution à l'Etude des Moteurs Thermiques par L. Letombe. — Dunod, éditeur. Page 3. Théorème I.

qui est celui des machines à quatre temps ordinaires, à détente limitée au volume d'aspiration.

Comme les détentes poussées jusqu'à la pression atmosphérique ne sont pas praticables, parce que le supplément de travail qu'on pourrait en obtenir ainsi serait compensé et au-delà par l'augmentation des résistances passives des machines; il s'ensuit qu'à compression égale, le cycle à combustion sera toujours inférieur au cycle à explosions qui lui, au contraire, est susceptible d'un certain prolongement de détente.

Au cours de la discussion, on a dit que les moteurs à explosions à pistons n'étaient pas capables de faire de détente prolongée: c'est absolument une erreur, et la meilleure preuve c'est que nous en avons toujours construit. On n'est limité dans cette voie que par une question commerciale, parce que les machines à longue détente sont naturellement plus grosses et coûtent plus cher que les machines sans détente. Nous avons même fait, dès 1890, une machine à double effet à détente tellement prolongée que nous avions dû prévoir, pour éviter un travail négatif à l'ouverture des soupapes d'échappement, des soupapes de retenue derrière celles-ci. Cette machine dont la température d'échappement était très basse, était remarquablement économique, mais d'un prix de revient trop élevé.

Cette question des longues détentes sera sans doute reprise plus tard quand on en arrivera, pour le moteur à gaz, à discuter comme on le fait pour la machine à vapeur aujourd'hui, des économies de consommations de quelques centièmes.

La figure 2 nous montre encore qu'une combustion isothermique ne peut être envisagée qu'à la condition de pouvoir reprendre la chaleur inutilisable également suivant une compression isothermique et sous la pression atmosphérique ; on réaliserait ainsi, sans avantage d'ailleurs, un cycle de Carnot, mais comme il n'est pas possible de réaliser une isotherme en-dessous de la pression atmosphérique, la combustion isothermique, ainsi que l'avait recherché autrefois M. Diesel, est absolument une erreur.

Pour la classe de cycles dont nous venons de parler, le rendement s'exprime par la formule connue :

$$\rho = 1 - \frac{t}{\theta}$$

t étant la température ambiante et θ la température de fin de

compression, formule qui peut se mettre sous la forme que nous avons donnée en 1900 :

$$\rho = 1 - \frac{n_1}{n^{\gamma}}$$

n_1 exprimant le volume total du cylindre de la machine considéré en fonction de la chambre de compression prise pour unité. Ces notations sont particulièrement commodes à employer pour les constructeurs, parce qu'elles permettent de ne faire entrer dans les formules que des données qui n'intéresssent que la construction.

Il est remarquable aussi de considérer que n^{γ} est précisément la valeur même de la compression adiabatique et on en déduit immédiatement que le rendement d'un moteur est d'autant plus élevé que la compression est plus forte. Il n'y a pourtant pas intérêt à pousser la compression au-delà d'une certaine limite parce que le calcul indique qu'à partir de 15 atmosphères environ il n'y a plus grand' chose à gagner.

Dans tous les cas il ressort de ce qui précède, que le cycle à explosions, seul susceptible d'être amélioré par une prolongation de détente, est le plus avantageux et que, d'autre part, le cycle à combustion lui est inférieur, à moins d'appliquer à ce dernier une compression beaucoup plus élevée, ce qui jusqu'ici n'a pu être réalisé qu'avec des combustibles liquides.

Dans tous les cas, c'est le cycle à explosions qui conviendrait le mieux aux turbines à gaz au point de vue du rendement, sans présenter toutefois d'avantages, même théoriquement, sur les machines à pistons et sa réalisation semble bien aléatoire.

Il ne reste donc de possible que le cycle à combustion et alors, pour avoir un rendement à peu près convenable, il faudra recourir à des compressions extrêmement élevées; or ce qu'on nous a dit jusqu'ici des turbines à gaz semble au contraire indiquer qu'on devra s'en tenir à des compressions modérées.

On nous a bien annoncé que pour élever le rendement des turbines à gaz on se proposait de monter plus en température qu'en pression : nous ferons remarquer qu'il résulte de la formule que nous avons citée plus haut que du moment qu'il s'agit d'un cycle à combustion, on ne gagne rien à monter en température puisque le rendement ne dépend que de la compression.

La turbine présente enfin une grave cause d'infériorité sur les

machines à pistons : c'est la nécessité de recourir à une compression préalable séparée, procédé qui n'a jamais réussi pour les machines à pistons et qui fait baisser considérablement les rendements du fait de la présence de compresseurs dont les rendements mécaniques propres ne sont jamais bien élevés, alors que pour les machines à pistons à quatre temps, la compression est par elle-même, au contraire, une cause d'amélioration de rendement mécanique.

Dans un moteur à gaz, le travail de compression ne doit pas être considéré comme un travail perdu : la compression agit comme un véritable ressort qui restitue immédiatement ce qu'on lui a donné, et, à ce point de vue, il est évident que la compression adiabatique est infiniment supérieure à la compression isothermique, que certains semblent rechercher comme un perfectionnement extraordinaire. La compression adiabatique a cette propriété précieuse, qu'ayant fait apparaître de la chaleur, celle-ci peut se retransformer intégralement en travail par détente. C'est le seul cas où, pour la transformation de la chaleur en travail, on ait un rendement égal à un.

Après une compression isothermique au contraire, comme on ne peut rendre la chaleur de compression qu'on a perdue, une détente subséquente ne pourra être qu'adiabatique et par conséquent on ne recueillera ainsi qu'une partie du travail dépensé. Comme le but à atteindre est, non de réduire un volume à une certaine valeur mais d'atteindre une pression déterminée, on semble perdre de vue, ainsi que l'a fait remarquer M. Deschamps, qu'il faut, dans ce dernier cas, plus de travail par une compression isothermique que par une compression adiabatique.

Lorsqu'on comprime de l'air pour l'utiliser plus tard et que de toute façon, par conséquent, la chaleur de la compression sera perdue, il est évident qu'il vaut mieux la perdre de suite, de façon à ne pas avoir à produire un travail inutile ; mais du moment que le travail de compression doit être utilisé immédiatement, il n'y a aucune raison pour perdre la chaleur produite.

On peut d'ailleurs démontrer d'une manière générale qu'un cycle à compression isothermique a un rendement inférieur à celui d'un cycle à compression adiabatique *(fig. 3)*.

Supposons, pour fixer les idées, un cycle à explosions : *abcd*,

ab étant une compression isothermique. On peut toujours faire l'étude d'un cycle en le décomposant.

Considérons l'adiabatique passant par le point *a* qui recoupe en *e* la ligne d'explosion.

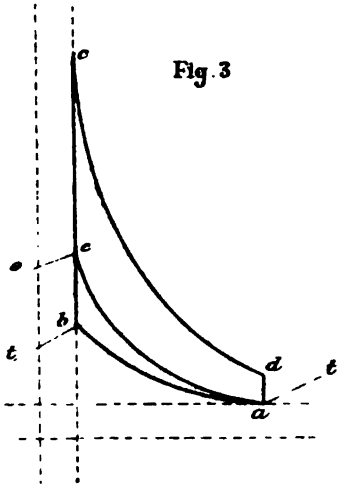


Fig. 3

Le rendement du cycle total se compose alors du rendement moyen des cycles *aecd* et *abe* (1).

En *a* et *b* la température est t, température ambiante, et en *e* elle est θ, température de fin de compression adiabatique.

Le rendement du cycle *aecd* a pour valeur $\rho = 1 - \frac{t}{\theta}$ et celui du cycle *abe* qui a pour températures extrêmes t et θ ne peut que lui être inférieur, attendu que l'expression ci-dessus correspond pour lui à un cycle de Carnot, c'est-à-dire à un maximum qu'il ne peut atteindre.

Un raisonnement analogue pour un cycle à combustion conduit au même résultat. Il n'y a donc pas lieu de se désespérer si les compresseurs ne permettent pas des compressions rigoureusement isothermiques pour l'alimentation des turbines.

Nous avons dit plus haut que la compression adiabatique était très précieuse dans les moteurs à pistons et n'affectait que favorablement le rendement mécanique. En effet, dans les grandes machines l'équipage des pièces en mouvement est d'un tel poids que l'inertie aux fins de course de piston prend des valeurs considérables, correspondant à des pressions de 10 à 12 kg par centimètre carré, très utilement combattues et annihilées par les compressions.

Pendant ces périodes de travail, les coussinets se trouvant déchargés, les frottements diminuent et par conséquent le rendement mécanique du moteur augmente.

En résumé, nous le répétons, théoriquement, la turbine à gaz ne peut être qu'inférieure, à quelque point de vue qu'on se place, aux machines à pistons.

Pratiquement, la turbine peut-elle présenter des avantages

(1) Voir note 1, page 7, théorème II.

susceptibles de la faire préférer ? — C'est ce qui nous reste à examiner :

On a invoqué l'action de paroi et on a dit que dans les turbines à gaz cette action serait moindre que dans les machines à pistons : c'est absolument inadmissible.

Nous avons démontré ici même que dans les machines à pistons, la présence des enveloppes d'eau n'avait aucun effet nuisible et qu'on ne retirerait aucun avantage de leur suppression au cas où cette suppression deviendrait possible. Nous rappellerons l'un des faits pratiques qui prouve notre assertion :

Un moteur de 20 ch et un moteur de 100 ch ont exactement le même rendement thermique, à régime égal de compression, bien entendu. Or, le rapport de la surface au volume croît de 1 à 2 en passant de la plus grosse machine à la plus petite. Si les pertes à la paroi étaient ce qu'on pense, comme elles sont évidemment proportionnelles aux surfaces, il en résulterait que la grosse machine devrait avoir un rendement thermique incomparablement supérieur à celui de la petite, alors qu'il n'en est rien.

En raison du mouvement alternatif rapide et de l'épaisseur du métal, la chaleur, dans un moteur à pistons, ne passe définitivement à travers la paroi que par pulsations et pendant l'échappement, c'est-à-dire à un moment où la chaleur est devenue intransformable en travail.

Dans la turbine à gaz, au contraire, le flux de la chaleur étant toujours dirigé dans le même sens, il n'y aura aucune alternance susceptible de ralentir son mouvement et loin de chercher à en refroidir les organes, il faudra au contraire, avec le plus grand soin, les envelopper de calorifuge pour ne rien perdre, car toute perte serait dans ce cas une perte sèche pour le rendement. Si, par imitation de ce qui se passe dans les moteurs à explosions, on en arrive, comme on l'a dit, à refroidir les aubes mêmes de la turbine par une circulation d'eau, le résultat sera déplorable.

Il est vrai qu'on a énoncé un moyen curieux de récupération : c'est d'employer les chaleurs perdues à faire de la vapeur qu'on lancera dans la turbine. Nous entrevoyons tout de suite une solution bien plus intéressante, c'est de chauffer une chaudière soit avec des gaz, soit avec du pétrole, pour alimenter une turbine à vapeur.

On a parlé des avantages de l'emplacement par rapport aux

machines à pistons, mais ce que nous a dit M. Rey dans la dernière séance n'est guère rassurant à ce sujet, et nous voyons que, soit qu'on ait recours à des compresseurs à pistons, soit qu'on ait recours à des turbo-moteurs, on arrive toujours à un encombrement considérable et qui équivaut bien à celui des machines ordinaires. Cet encombrement dépasse même de beaucoup celui de certaines dispositions qu'on peut employer. Ainsi, nous étudions actuellement pour la Compagnie de Fives-Lille un moteur de 750 ch, vertical il est vrai, mais qui n'occupe en plan, volant compris que 3 m sur 6. Nous ne pensons pas qu'avec n'importe quelle turbine munie de ses compresseurs, on puisse jamais arriver à un emplacement aussi restreint pour une force équivalente.

On peut prévoir dès maintenant les résultats qu'on obtiendra avec les turbines dont on nous a parlé. Comme il n'est question que d'une compression de 5 kg, il est dès maintenant certain que la consommation par cheval-heure effectif, loin de descendre aussi bas que celle des machines à combustion, ne pourra pas être inférieure à 300 gr de pétrole par cheval-heure effectif.

Comme d'autre part le rendement mécanique du système compresseur et turbine semble devoir se limiter vers 40 0/0 alors que celui du moteur ordinaire atteint facilement 80, la consommation montera à 600 g par cheval et avec les pertes inévitables de chaleur, on arrivera probablement à beaucoup plus.

En terminant, M. Sekutowicz a dit qu'à son avis, lorsqu'il s'agit d'utilisation de charbon, il n'y a encore rien de tel, au de vue économique, que l'emploi de la chaudière : nous lui ferons remarquer qu'il oublie le gazogène qui est un appareil d'un rendement bien supérieur et susceptible aujourd'hui d'utiliser des combustibles qui coûtent plutôt moins cher que ceux qu'on emploie pour la production de la vapeur. M. Deschamps fait des gazogènes qui marchent très bien avec des combustibles très divers et en particulier avec des combustibles riches en matières volatiles, ce qui fut longtemps une difficulté. Nos propres gazogènes marchent indifféremment avec tous les combustibles maigres et pour donner un exemple curieux de l'utilisation de combustibles de peu de valeur, nous citerons les installations faites par la Cie de Fives-Lille avec nos appareils, aux Forges de Sedan, où l'on utilise uniquement, pour une marche de jour et de nuit sans

arrêt, des escarbilles de fours à puddler, qui n'étaient autrefois qu'un résidu encombrant et inutilisable.

Nous ajouterons qu'un gazogène est un appareil infiniment plus facile à bien conduire qu'une chaudière dont le rendement dépend plus de l'habileté du chauffeur que de tous les perfectionnements qu'on peut apporter aux installations à vapeur.

Même pour de très grandes puissances, il n'est pas douteux que l'avenir appartient aux moteurs à gaz pauvre avec gazogènes.

Pour terminer, nous conclurons à peu près dans les mêmes termes que l'a fait notre vice-président, M. Cornuault, dans la séance du 2 février, à la suite de la communication de M. Sekutowicz.

Les turbines à vapeur sont préférées dans certains cas, non parce qu'elles sont plus économiques que les machines à pistons, mais simplement parce qu'elles tiennent moins de place et sont plus simples.

Pour les turbines à gaz, au contraire, il y a des chances pour que mêmes parfaites, elles ne soient pas préférées, à cause de la complication et de l'encombrement des mécanismes sans lesquels elles ne peuvent exister.

V

NOTE

DE

M. A. BOCHET.

La discussion que nous venons de suivre avec tant d'intérêt fait surtout ressortir les difficultés de réalisation de la turbine à gaz, mais il faut faire crédit aux chercheurs qui s'efforcent à vaincre ces difficultés.

Tout d'abord, il est évident que l'effort doit porter sur l'extension au régime des nouvelles machines des méthodes d'investigation de la théorie mécanique de la chaleur et de la thermo-dynamique.

De beaux travaux sont déjà publiés sur ce sujet, mais il est à souhaiter de les voir développer avec un égal souci d'éviter la recherche d'une vaine précision, compliquant outre mesure les calculs, et d'écarter l'usage de théories simplifiées ou d'extrapolations aventureuses conduisant à de grossières erreurs.

Des recherches expérimentales purement scientifiques n'en sont pas moins utiles. Tous les Ingénieurs savent, en effet, que les essais réalisés pour la mise au point d'un système déterminé, d'un appareil complet devant donner des résultats industriels, ne permettent pas de discerner avec précision l'influence effective de chacun des phénomènes physiques entrant en jeu. Il faut les analyser séparément dans des travaux de laboratoire.

Une telle préparation évitera bien des mécomptes et des désillusions, et conduira le plus rapidement possible aux résultats légitimement attendus. Ceux de nos collègues qui ont bien voulu nous faire part de leurs idées et de leurs travaux, ont exposé déjà les divers régimes applicables aux turbines.

Je les résumerai, comme l'a déjà fait M. Boulvin pour les moteurs à gaz, en utilisant les diagrammes entropiques si expressifs pour ce genre de comparaison.

Sur les diagrammes de la figure 1, les entropies $\int \frac{dQ}{T}$ sont portées en abscisses et les températures en ordonnées.

Les quatre diagrammes tracés se rapportent tous au même

poids d'un mélange combustible de composition identique, et la combustion ainsi que la détente, sont supposées également complètes.

Nous allons examiner les résultats obtenus :

1° Par une explosion sans compression ;

2° Par une explosion avec compression ;

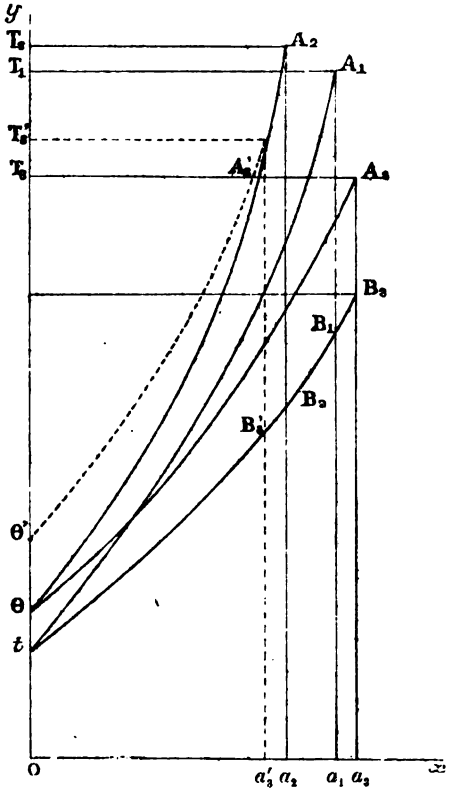
3° En conservant la même compression et en produisant la combustion sous pression constante ;

4° En élevant la compression et en provoquant la combustion sous pression constante.

1° En partant d'une température ambiante t. la courbe tA_1 représente l'explosion sans compression sous volume constant.

Cette explosion est suivie d'une détente que nous pourrons admettre, sans inconvénient pour notre exposé, comme adiabatique.

Fig. 1.



Cette détente sera ainsi représentée sur le diagramme par une parallèle à l'axe des Y A_1a_1. La surface otA_1a_1 est proportionnelle à la quantité de chaleur fournie par la combustion. En traçant, du point t, une courbe correspondant à l'évacuation des gaz, cette courbe recoupera l'adiabatique A_1a_1 en un point B_1.

La détente adiabatique se trouvera donc limitée de A_1 à B_1.

La surface tA_1B_1 est proportionnelle à la quantité de chaleur transformée en travail, et la surface otB_1a_1 est proportionnelle à la quantité de chaleur rejetée à l'évacuation.

2° Dans le second cas, le mélange est d'abord comprimé suivant l'adiabatique $t\theta$. L'explosion a lieu ensuite suivant θA_2 et la détente adiabatique suivant l'isentropique A_2a_2.

D'après ce qui précède, on voit que la surface $o\theta A_2a_2$ est précisément égale à la surface otA_1a_1, ce qui exige que oa_2 soit plus petite que oa_1.

Suivant le raisonnement précédent, la quantité de chaleur transformée en travail dans ce second cas, sera représentée par surface $t\theta A_2B_2$. Il apparaît de suite que la surface otB_2a_2 est plus petite que otB_1a_1. La quantité de chaleur rejetée à l'échappement est donc moindre, et par suite celle transformée en travail devient plus considérable. La température des gaz au moment de l'ouverture de l'échappement, à la fin de la détente, est plus basse dans le second cas que dans le premier.

3° En produisant la combustion sous pression constante, au lieu d'une explosion sous volume constant, on obtient la courbe θA_3 au lieu de θA_2.

Cette combustion sous pression constante donne une température T_3 plus faible que T_2, et le diagramme montre qu'en ce cas l'utilisation est moins avantageuse.

4° Mais il est possible d'inverser ce résultat en augmentant la compression jusqu'en θ', comme il est possible de le faire dans les machines à combustion. Le travail utilisable devient alors $t\theta'A'_3B'_3$ et la chaleur rejetée à l'échappement n'est plus que $otB'_3a'_3$, ce qui correspond à une utilisation meilleure qu'avec les autres diagrammes.

Cette étude sommaire fait ressortir clairement, comme il est bien connu, l'avantage des hautes compressions. Elle montre qu'à égalité de compressions, le cycle à explosion est plus avantageux que le cycle à combustion. Mais ce dernier a le très grand avantage de permettre la réalisation facile de très hautes compressions sans crainte d'allumages anticipés. C'est en cela que réside la cause du succès du moteur Diesel.

A ce sujet, je confirmerai l'observation de M. Deschamps sur le système Diesel.

Si l'inventeur poursuivant au début la réalisation d'un cycle de Carnot, a songé à effectuer une combustion isothermique, il y a vite renoncé, comme le montrent ses derniers brevets qui correspondent au régime de tous les moteurs Diesel actuellement en service.

Dans ces moteurs, la combustion est bien plus proche de l'isobare que de l'isotherme et, par suite, elle donne une élévation considérable de température.

La turbine à gaz ne semble pas pouvoir bénéficier des hautes compressions, à cause de la difficulté de réalisation de compresseurs convenables.

Avec des compressions réduites, c'est bien comme le montrent les diagrammes de la figure 1, le cycle à explosions qu'il faut choisir. Mais alors apparaît la difficulté d'assurer à la veine-fluide la régularité d'allure indispensable pour une bonne utilisation.

Ce sont là des points faibles qui méritent grande attention.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que la turbine à gaz supposée bien établie, aura, en partie, les avantages et les inconvénients de la turbine à vapeur parvenue dès l'heure actuelle à un haut degré de perfection.

En raison des conditions de rendement, de vitesse et d'encombrement, il ne faut guère songer aux turbines à gaz supposées mises au point, que pour d'assez grandes puissances, soit plusieurs centaines de chevaux.

Comme détail pratique, j'insisterai sur la difficulté signalée par M. Sekutowitz, au sujet de l'emploi d'une soupape à l'aval de la chambre de combustion.

Il n'est pas possible de comparer les conditions de fonctionnement d'un tel organe à celles des soupapes des moteurs à piston.

En effet, la dégradation des soupapes ne tient pas seulement à la température atteinte dans le cylindre par les gaz, mais surtout à la température des gaz auxquels la soupape livre passage.

En raison des dispositions usitées, ce n'est qu'au moment où la soupape est soulevée que les gaz chauds l'enveloppent entièrement et l'échauffent au maximum.

Tous les praticiens savent que les soupapes d'échappement souffrent beaucoup plus que les soupapes d'admission, et ils savent aussi qu'un mauvais réglage du moteur provoquant une surélévation de la température des gaz d'échappement, entraîne l'altération rapide de la soupape d'échappement.

En conséquence, une soupape qui se trouverait à l'aval de la chambre de combustion avant la détente, serait dans de très mauvaises conditions.

M. Deschamps a présenté une ingénieuse explication de l'infériorité des moteurs à deux temps.

Il a rappelé que dans les moteurs où la compression se fait dans le cylindre de détente, le travail absorbé par cette compression est $\int pdv$ alors qu'il est $-\int vdp$ lorsque la compression est faite dans un autre réservoir que le cylindre de détente. $\int pdv$ est sensiblement plus petit que que $-\int vdp$. Du fait des rendements qui interviennent, la restitution de ce travail au moteur est incomplète, et il en résulte un désavantage marqué pour les moteurs où la compression est effectuée en dehors du cylindre de détente. Cette conclusion est exacte, mais elle ne suffit pas à expliquer l'insuccès des moteurs à deux temps, car beaucoup d'entre eux ne présentaient pas ce défaut. Dans nombre de systèmes à deux temps, la compression s'effectue bien dans le cylindre de détente, balayé à la fin de la période d'échappement par l'air frais ou le mélange tonnant.

Ces machines ne donnent cependant pas non plus des résultats satisfaisants.

VI

NOTE

DE

M. L. SEKUTOWICZ

La communication de M. Sekutowicz sur les « turbines à gaz » a été l'objet d'une discussion qui a occupé en partie les séances des 6 et 20 avril et il paraît utile d'examiner diverses observations qui ont été produites au cours de cette discussion.

On a, tout d'abord, exprimé le regret que l'auteur n'ait pas entrepris *une étude détaillée des brevets concernant ces machines*. Cette omission a été voulue pour deux raisons. D'abord il paraît peu vraisemblable que la réalisation pratique de la turbine à gaz doive résulter d'artifices de construction plus ou moins ingénieux. Les quelques brevets cités et choisis exprès parmi les plus anciens contiennent, au moins en germe, les principes très simples qui permettront, vraisemblablement, d'aboutir. La réalisation de la compression par des moyens différents des compresseurs actuels, ou bien la création d'une turbine à explosion sans soupape d'aval (entre la chambre de combustion et la tuyère) ou sans perte d'énergie sous la forme d'ondes sonores résultant de l'écoulement variable, pourraient seulement faire l'objet d'inventions proprement dites. Mais aucun pas ne paraît avoir été fait dans ce sens et les brevets connus n'apportent pas de solution à ces problèmes.

D'autre part, il est toujours délicat de chercher à départager des inventeurs contemporains. Déjà les quelques brevets anciens cités par M. Sekutowicz ont donné lieu à des controverses, en particulier celui de Stolze (1).

En second lieu, les *hypothèses sur lesquelles nous nous sommes basé dans l'étude thermodynamique*, ont été en partie critiquées.

L'un de nos collègues a paru croire que nous considérions le rendement du cycle de Carnot comme une sorte de criterium,

(1) On a dit à tort, au cours de la discussion, que ce brevet se rapportait à une turbine à air chaud, tandis qu'il suffit de se reporter au brevet allemand 101 959, publié en 1899, pour constater que la machine décrite sous le nom de « Feuerluft-turbine » utilise bien, dans la turbine motrice, les gaz provenant d'une combustion. L'erreur paraît provenir de l'existence de deux brevets Stolze.

alors que ce cycle n'a été examiné que comme cas particulier et pour conclure, d'ailleurs, à l'impossibilité de sa réalisation (1). Mais une critique plus grave a été apportée, ne tendant à rien moins qu'à dénier toute utilité à la discussion du mode d'évolution basée sur la considération des cycles.

Il est indispensable de préciser notre opinion à ce point de vue. Sans doute nous ignorons la forme exacte de la loi de détente. Nous savons seulement qu'elle peut être, en pratique, représentée par une formule analogue à celle de Poisson et dont l'exposant sera déterminé par l'expérience. Ceci admis, le travail fourni par une détente adiabatique et l'abaissement de température corrélatif sont bien définis et calculables sans erreur.

Le travail dépensé dans la compression, soit adiabatique, soit isothermique, n'est pas moins défini ni calculable.

Quant à la chaleur fournie au corps évoluant, sa détermination repose sur la connaissance des chaleurs spécifiques qui varient, comme chacun sait, avec la température et la pression, suivant des lois expérimentales dont on peut, en principe au moins, tirer un calcul exact de l'élévation de température corrélative d'une introduction de chaleur donnée.

Par suite, et sans recourir en rien au principe de Carnot, on peut calculer, comme l'ont fait tous les auteurs qui se sont occupés des moteurs thermiques, la quantité de chaleur dépensée Q, celle emportée par les gaz brûlés q, ou soustraite au fluide évoluant pendant la compression q', et en déduire quelle est la quantité de chaleur transformée en travail utile. Le principe de la conservation de l'énergie suffirait effectivement à montrer que la quantité de chaleur transformée en travail sera égale à $(Q - q - q')$ en supposant le rendement mécanique des différents organes égal à l'unité.

Ce qui précède est rigoureux si l'on envisage seulement des machines à air chaud. Il n'en est plus de même si l'on fait intervenir une réaction chimique telle qu'une combustion parce qu'il faudra tenir compte du changement d'état des corps, de la dissociation, etc. Mais il n'en sera pas moins possible, fût-ce par la voie empirique, de déterminer l'élévation de température et de pression correspondant à une introduction de chaleur Q, et par suite de calculer le rendement de l'opération par la méthode, en quelque sorte terre à terre, qui nous occupe.

(1) Il en est de même des cycles à introduction de chaleur isothermique.

Lorsqu'on envisage la question des turbines à gaz dans son ensemble, on ne peut pas se proposer d'étudier tous les mélanges combustibles imaginables. Le mieux est donc de prendre pour type l'air pur et d'examiner la turbine à air chaud en considérant comme une sorte de critérium les résultats théoriques qu'elle donnerait.

C'est ce que nous avons fait. Mais étions-nous en droit, à l'exemple des auteurs qui se sont occupés des moteurs à gaz, comme MM. Witz, Moreau, etc., ou des turbines à gaz comme MM. Neilson, Bauman, etc., d'utiliser, en vue d'une première approximation, les formules simples applicables aux gaz parfaits; ou bien devions-nous, au contraire, tenir compte, dès l'abord, des formules plus précises basées sur la variabilité des chaleurs spécifiques? Nous ne l'avons pas cru et l'on a dit que cette simplification ôtait toute valeur à la discussion.

Nous allons essayer de montrer qu'il n'en est rien, non par une simple affirmation, mais par quelques chiffres.

Influence de la variabilité des chaleurs spécifiques.

Tout le monde sait que les expériences de M. Lechâtelier ont permis d'établir une formule empirique donnant la valeur de la chaleur spécifique à volume constant à une température quelconque T par une relation linéaire telle que :

$$c_v = a + b\mathrm{RT}.$$

Mais on est moins fixé en ce qui concerne la chaleur spécifique C_p à pression constante. M. Vermand (1) admet que la relation applicable aux gaz parfaits :

$$C_p = c_v + \mathrm{AR}$$

reste valable. Mais ceci suppose que la relation $PV = RT$ le soit aussi. On sait qu'il n'en est rien, puisque cette relation est établie en admettant que le coefficient de dilatation reste constant (ce qui n'est pas exact, car il varie avec la température et la pression). Si l'on voulait être plus précis, il faudrait remplacer le binôme de dilatation par une exponentielle et l'on arriverait à une relation de la forme $PV = Me^{\beta t}$ où M et β sont des constantes et t la température. Et encore cette forme simplifiée n'est-elle pas

(1) Vermand : *Les moteurs à gaz et à pétrole.* — Encyclopédie Léauté.

rigoureuse, différents physiciens ayant donné des formules plus satisfaisantes basées sur la considération de la pression intérieure et du covolume.

Mais il y a plus et M. Lussana (1) a montré que C_p varie avec la pression. Il a même proposé de représenter cette variation par la formule empirique $C_p = a + b\,(p - 1)$ où p est la pression en kilogrammes par centimètre carré. On aurait ainsi pour l'air :

$$C_p = 0{,}2374 + 0{,}001498\,(p - 1).$$

formule qui donne pour une pression de 40 kg une valeur supérieure de près de 25 0/0 à la valeur ordinaire.

On voit à quelles complications l'on serait conduit si l'on voulait tenter un calcul *précis* s'étendant aux nombreux cas que nous avons envisagés. Et encore faudrait-il tenir compte de ce que la composition du mélange gazeux différerait dans chaque cas, ce qui modifie notablement les coefficients.

Un calcul ainsi compris n'est possible que si l'on envisage un exemple bien défini, comme M. Barbezat l'a fait dans son travail de 1904 (2) en suivant, en ce qui concerne la formule de la détente, le mode de calcul de M. Vermand.

Admettons que l'on se borne ainsi à tenir compte de la variabilité de C_p et c_v avec la température et à adopter la forme de la loi de détente adiabatique que M. Vermand a calculée. Le rapport des températures dans la détente adiabatique devient alors :

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{\left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{e^{\frac{bR}{a+RA}(T_2 - T_3)}}$$

dans laquelle $\gamma = 1 + \frac{AR}{a}$ et a et b sont les coefficients de MM. Mallard et Lechâtelier dans la formule $c_v = a + bRT$.

Nous allons examiner les résultats que donnerait cette formule : 1° dans le cas où l'on aurait affaire à de l'air pur, et 2° dans le cas où l'on soumettrait à la détente les produits de la combustion d'un mélange de gaz de haut fourneau renfermant 0 vol. 8 d'air pour 1 volume de gaz.

(1) Lussana : *Journal de Physique*. — 1896.

(2) Barbezat : *Note sur le rendement des turbines à gaz. L'Éclairage électrique*, 19 novembre 1904.

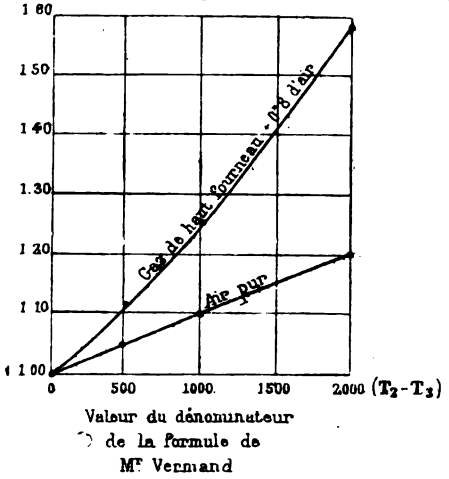
Valeur des coefficients.	Air pur.	Mélange
a	0,162	0,152
bR	0,0000208	0,0000497
AR	0,069	0,064
$\frac{b\mathrm{R}}{a + \mathrm{AR}}$	9×10^{-5}	23×10^{-5}
$\frac{\mathrm{AR}}{a}$	0,426	0,419
$\frac{\gamma - 1}{\gamma}$	0,299	0,294

Avec les formules ordinaires on a, dans le cas de l'air :

$$\frac{T_2}{T_3} = \left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{0.29}$$

Dans la formule de M. Vermand, le numérateur devient $\left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{0.209}$ et son rapport à $\left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{0.29}$ a pour valeur $\left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{0.009}$, c'est-à-dire que pour $\frac{p_2}{p_3} =$ 5 10 20 100
le rapport est : 1,015 1,020 1,025 1,040.

Fig. 1



Valeur du dénominateur de la formule de Mr Vermand

Il n'y a de ce fait qu'une différence de 4 0/0 au plus entre les résultats des deux formules.

Le dénominateur (*fig. 1*) de la formule de M. Vermand a pour

valeur, dans le cas de l'air $e^{9 \cdot 10^{-5}} (T_2 - T_3)$ et, dans le cas du mélange gazeux considéré, $e^{23 \cdot 10^{-5}} (T_2 - T_3)$, c'est-à-dire pour :

		Air.	Mélange.
$T_2 - T_3 =$	500	1,05	1,12
$T_2 - T_3 =$	1000	1,10	1,25
$T_2 - T_3 =$	2000	1,20	1,58

Il suit de là que pour une détente donnée, définie par le rapport des pressions initiale et finale, l'abaissement de température produit par la détente est en général moindre d'après la formule de M. Vermand que d'après la formule ordinaire.

Nous ne pouvons considérer ici que le cas de l'air pur, puisque dans le cas du mélange gazeux la composition varie avec l'introduction de chaleur et par suite avec les différences $(T_2 - T_3)$.

Le dénominateur de la formule de M. Vermand peut alors se mettre approximativement sous la forme : $1 + \frac{T_2 - T_3}{10\,000}$. Une simple équation du deuxième degré donnera la valeur de T_2 qui correspond, pour une température d'échappement constamment fixée à 700 degrés, par exemple, aux diverses valeurs du rapport de détente $\frac{p_2}{p_3}$.

On a ainsi pour $\frac{p_2}{p_3} =$	5	10	20	50	100
les valeurs de T_2 suivantes :	1050	1320	1570	2010	2370
au lieu de :	(1120)	(1365)	(1680)	(2200)	(2670)

avec la formule ordinaire.

Le graphique ci-contre (*fig.* 2) donne une idée de l'ordre de grandeur des différences entre les résultats des deux formules.

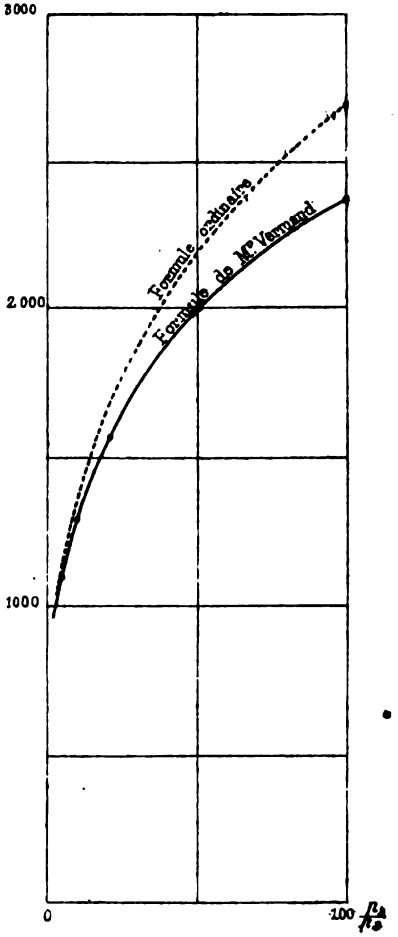
Ceci posé, examinons l'influence de ces divergences sur le rendement, en nous limitant au cas où l'échauffement a lieu sous pression constante et où la compression est isothermique.

La quantité de chaleur introduite $Q = C_p (T_2 - T_0)$ sera, avec les nouvelles valeurs de T_2, moindre que précédemment, puisque $(T_2 - T_0)$ est plus faible. Mais, la chaleur spécifique étant plus forte, il s'établit une compensation partielle.

On a, en effet, dans le cas de l'air :

$$C_p = 0{,}162 + 0{,}069 + 0{,}0000208\ T$$
$$= 0{,}231 + 0{,}0000208\ T.$$

Fig. 2



Valeur de T_2 correspondant à $T_3 = 700°$
Cas de l'air pur

D'où pour $\frac{p_2}{p_3}$ . . . . =	5	10	20	50	100
Valeur moyenne de $\overline{C}_p$ =	0,245	0,248	0,251	0,255	0,259
Valeur de $(T_2 - T_o)$. =	750	1 020	1 270	1 710	2 070
$Q = \overline{C}_p (T_2 - T_o)$ . . =	184	253	319	436	536
(Au lieu de)	(195)	(254)	(328)	(450)	(563)

Ainsi, dans le cas de l'air pur, on obtient des valeurs moindres pour l'introduction de chaleur et, par suite, des rendements un peu plus faibles que par l'emploi des anciennes formules.

En effet, pour $\frac{p_2}{p_3}$ . .	=	5	10	20	50	100
On aura $A\mathfrak{C}_r$ . . .	=	33	48	62	82	95
Et q	=	97	97	97	97	97
Équivalent du travail utile $A\mathfrak{C}_u$	=	54	108	160	257	344
Rendement thermique ρ	=	0,29	0,42	0,50	0,59	0,64
(Au lieu de) . . .	=	(0,36)	(0,45)	(0,53)	(0,62)	(0,67)
Rapport $\frac{\mathfrak{C}_r}{\mathfrak{C}_u}$	=	0,61	0,45	0,39	0,30	0,27
Rendement mécanique τ_i	=	0,26	0,37	0,42	0,48	0,50
Effet utile total $\rho\tau_i$.	=	0,075	0,156	0,21	0,28	0,32
(Au lieu de) . . .	=	(0,13)	(0,18)	(0,23)	(0,30)	(0,35)

Ces chiffres montrent que l'adoption des formules anciennes était largement suffisante comme première approximation, surtout en ce qui concerne le résultat final, le rendement, car les divergences sont plus grandes en ce qui concerne certains éléments particuliers du problème, tels que la température maxima. Mais ces éléments n'ont qu'une importance relativement secondaire, car ce ne sont pas eux qui imposent une limite au rendement.

Notre discussion, basée *sur le calcul du rendement réalisable en fonction du rapport de détente pour une valeur fixe et déterminée de la température finale de la détente*, reste donc valable si l'on tient compte de la variabilité des chaleurs spécifiques. Les écarts entre les résultats des deux formules sont de l'ordre de grandeur des erreurs auxquelles on doit s'attendre dans de pareils calculs, du moins dans le cas où l'on raisonne comme si l'on avait affaire à de l'air pur.

Mais il est évident que dans les machines réelles les résultats obtenus seront différents de ceux ainsi calculés.

D'abord, on n'a pas tenu compte de la variabilité de C_p avec la pression. Les écarts correspondants sont un peu plus grands que les précédents, mais resteraient encore du même ordre de grandeur à condition d'adopter des pressions maxima inférieures à

7 atmosphères, par exemple, ce qui n'est pas incompatible avec de grandes détentes (comme 35 à 40). Il y aurait de ce fait une conclusion nouvelle à tirer, savoir que les turbines à combustion avec échappement sous pression réduite auraient, à détente égale, un meilleur rendement thermique que celles échappant sous la pression atmosphérique.

Ensuite et surtout, il faudrait tenir compte de la variation de composition chimique des gaz brûlés, dans les différents cas.

Sans entrer dans des développements qui ne sauraient trouver place ici, on peut montrer toutefois que l'emploi des nouvelles formules ne donne pas des résultats aussi différents qu'on l'a dit, même lorsqu'on tient compte de la composition chimique exacte des gaz. Ainsi, notre collègue M. Barbezat arrivait, dans son calcul de 1904, à des résultats dont on peut déduire les chiffres suivants pour une turbine à combustion échappant à 968 degrés absolus avec détente de 30 degrés.

	Ancienne formule.	Nouvelle formule.
Quantité de chaleur Q introduite . . .	550	530
Température absolue de production. .	2600°	2024°
Valeur moyenne de C_p.	0,238	0,320
Perte à l'échappement	159	192
Calories soustraites à la compression. .	70	70
Équivalent $A\mathfrak{C}_u$ du travail utile	321	268
Rendement thermique ρ	0,585	0,510
Rapport $\frac{\mathfrak{C}_c}{\mathfrak{C}_u}$	0,22	0,26
Rendement mécanique η_i pour $\eta_t = \eta_c = 0{,}70$.	0,54	0,51
Effet utile total $\rho\eta_i$	0,315	0,26

L'écart des deux rendements est sensible, mais ne dépasse pas la limite des erreurs auxquelles on doit s'attendre dans de pareils calculs.

Nous nous abstiendrons d'examiner le cas des *cycles à explosion*. Bien que ce soit à tort que l'on nous ait objecté qu'un mélange à 260 calories n'explose pas puisque des mélanges à 220 calories (1 volume de gaz d'éclairage pour 16 d'air) détonent encore, il est évident que nos tableaux, correspondant aux cycles à explosion, n'ont pas la prétention de représenter des données

pratiquement réalisables, mais seulement de montrer dans quel sens varient les résultats lorsqu'on modifie les données supposées. Les aléas du calcul sont en effet plus grands dans le cas de ces cycles que pour les cycles à combustion. Les chaleurs spécifiques c_v varient plus rapidement que C_p avec la température. En outre, les écarts de température sont plus grands.

Les formules de MM. Lechâtelier et Vermand montrent cependant qu'il serait très difficile d'utiliser dans une turbine à explosion les mélanges riches à 456 calories, par exemple, comme celui que l'on obtient avec 1 volume de gaz de haut fourneau et 0 vol. 8, d'air. Un pareil mélange donnerait en théorie une température d'explosion de 2320 degrés absolus, ce qui exigerait, pour obtenir 700 degrés à la fin de la détente, une détente correspondant à un rapport de pressions excessif dépassant 60 avec les anciennes formules et beaucoup plus considérables avec les nouvelles.

Comme il est difficile d'imaginer dans les turbines à explosion une dilution du mélange avant l'explosion, on se trouverait amené à recourir à une dilution après explosion, dont nous avons montré les inconvénients. Cette difficulté ne se présente pas avec les turbines à combustion, dans lesquelles on peut injecter l'air de dilution dans la chambre d'une façon continue.

Pertes d'énergie dans le mélange de deux courants gazeux animés de vitesses différentes.

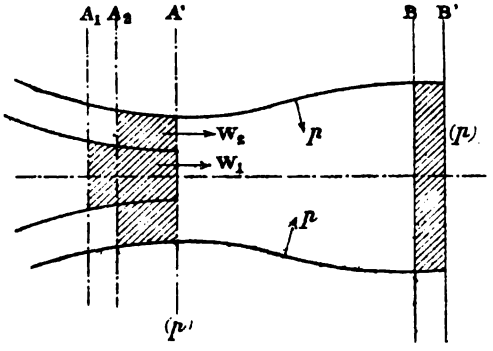
Ceci nous conduit à examiner la critique qui a été faite à la démonstration que nous avons empruntée à M. le professeur Stodola, concernant les pertes d'énergie qui se produisent lorsqu'on mélange deux courants gazeux animés de vitesses différentes.

La démonstration repose sur cette hypothèse que la pression est la même dans le plan terminal de l'ajutage (plan A'), à l'intérieur et à l'extérieur de cet ajutage central (*fig. 3*). Cette hypothèse paraît fondée, parce que, si les pressions étaient inégales, il en résulterait la formation d'ondes de compression et d'expansion analogues à celles que l'on observe à la sortie d'un ajutage divergent débitant dans l'atmosphère, lorsque la pression qui règne dans la section terminale de l'ajutage diffère de celle de l'atmosphère. Or, on sait que ces ondes vibratoires donnent lieu à une perte d'énergie considérable. Il est donc logique et néces-

saire de chercher à régler la trompe de manière à annuler cette première cause de pertes.

Mais de ce que la pression est la même en tous les points du plan A′, il ne s'ensuit nullement que cette pression ait obligatoirement une valeur égale à celle de l'atmosphère, en supposant le cas où la section B débite dans l'atmosphère. Seulement dans ce cas la démonstration doit être modifiée. En effet, c'est

Fig. 3



uniquement dans un but de simplification que l'on a supposé le profil évasé suivant une forme telle que la pression soit la même de A′ jusqu'en B. D'une manière générale et *a priori*, si le profil est quelconque, la pression sur la paroi variera suivant une loi inconnue de p_0 à p_1. Mais alors le problème ne pourra pas être mis en équation d'une façon simple.

Pour qu'il en soit ainsi, nous sommes obligés de considérer le cas où la chambre de mélange est cylindrique, afin que la somme des composantes axiales des réactions des parois soit nulle. (Toutes ces démonstrations négligent, d'ailleurs, le frottement des parois) (*fig. 4*).

L'équation $$\pi w - (\pi_1 w_1 + \pi_2 w_2) = 0,$$

devient alors $$\pi w - (\pi_1 w_1 + \pi_2 w_2) = Sg(p_0 - p),$$

g (accélération de la pesanteur), S surface de la section B.

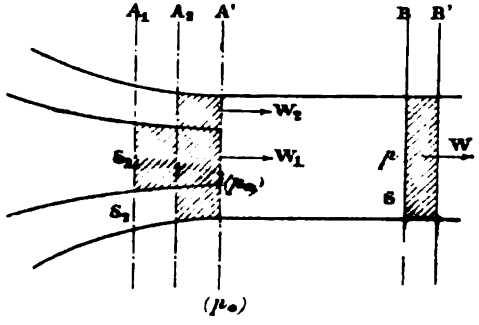
En poursuivant le calcul, M. Stodola trouve, comme nous l'avons dit, deux solutions. Même en choisissant celle qui correspond à l'absence de tout choc de compression, on constate encore une perte d'énergie considérable.

Dans tous les cas, le calcul montre qu'avec le dispositif cylindrique la pression p est supérieure à p_0, ce qui est conforme à ce que l'on sait du fonctionnement des trompes aspirant et

refoulant dans l'atmosphère. Mais il ne s'ensuit nullement que la différence entre p et p_0 donne une mesure de la qualité de la trompe puisque comme on vient de le voir, cette variation de la pression dans le canal n'empêche pas l'existence des remous et la transformation en chaleur d'une grande partie de l'énergie cinétique initiale du courant gazeux.

En résumé, la démonstration de M. Stodola n'envisage que deux cas particuliers, mais elle montre que dans chacun d'eux les pertes sont très importantes et cette démonstration est tout à

Fig. 4



fait indépendante de la théorie du choc des corps mous, puisqu'elle se base uniquement sur le théorème des quantités de mouvement projetées qui permet d'éliminer le travail des forces intérieures correspondant aux tourbillonnements dans la zone de mélange. C'est en vertu de ce théorème que M. Stodola écrit l'équation $dmdw_x = dP_x dt$ qui, en tenant compte de la partie commune du fluide comprise entre les plans A' et B, donne les équations indiquées ci-dessus.

Or le théorème des quantités de mouvement projetées est absolument général et n'implique aucune hypothèse sur la nature du fluide ou des fluides envisagés (1).

Loin de s'étonner de voir le mélange de deux gaz animés de vitesses différentes consommer une quantité de force vive importante, on devait prévoir ce fait par analogie avec ce qui se passe

(1) Il n'en aurait pas été de même si l'on avait appliqué le théorème des forces vives, car il eût fallu dans ce cas évaluer le travail des forces intérieures. On aurait été conduit à utiliser le lemme de Bélanger, d'après lequel la somme des travaux des forces intérieures dans la zone du remous est égale à la demi-force vive annihilée dans le mélange. Or ce lemme est basé sur un résultat d'expérience exact pour les liquides et, d'ailleurs, aussi pour les gaz, mais dont on aurait pu contester l'exactitude dans notre cas.

(Le lecteur aura d'ailleurs, redressé de lui-même l'erreur d'après laquelle, dans le texte du mémoire l'expression « théorème des forces vives » a été substituée à « théorème des quantités de mouvement projetées.)

dans les cas semblables de l'hydraulique (théorème de Belanger, etc.), où une variation brusque de vitesse entraine toujours des tourbillonnements transformant en chaleur une partie de la force vive.

Observations et critiques d'ordre pratique.

Nous passerons rapidement sur les observations ou critiques d'ordre pratique auxquelles a donné lieu le travail sur les turbines à gaz.

On a dit qu'il était impossible de réaliser une compression sensiblement isothermique et, d'autre part, que le rendement mécanique η_c du compresseur admis par nous n'était pas réalisable. Sur le premier point, les résultats indiqués concernant les compresseurs de Billancourt et ceux fournis par M. Rey au cours de la discussion montrent qu'avec une compression étagée avec refroidissement intermédiaire on arrive déjà très près du but. Si dans un compresseur du type de Béthune on faisait, en outre, de l'injection dans les différents corps la compression serait presque rigoureusement isothermique. Quant au rendement mécanique, il a atteint 0,70 dans le premier corps, comprimant de 1 kg à 1,7 kg, et 0,55 seulement dans le quatrième, comprimant de 4,9 à 7,2 kg, soit 0,64 pour la moyenne des quatre corps. Ces chiffres d'un grand intérêt indiqués par M. Rey permettent, croyons-nous, d'espérer qu'un appareil du même genre fonctionnant entre 0,20 kg et 1 kg aurait un rendement supérieur à 0,70, de sorte qu'on pourrait passer de 0,20 à 7 kg avec un rendement voisin de 0,65 à 0,70 (1). On est donc déjà arrivé avec le compresseur multicellulaire de 400 ch de Béthune, bien près du résultat que nous faisions espérer comme réalisable dans un avenir assez prochain, savoir la réalisation d'une compression totale dans le rapport de 1 à 30 en dépensant sur l'arbre du compresseur, une quantité de travail équivalente à $\frac{RT_0\mathcal{L}(30)}{0,70}$ par kilogramme d'air.

En ce qui concerne la détente on a dit au cours de la discussion que cette phase de l'évolution ne serait pas adiabatique, parce qu'il faudrait recourir à un refroidissement énergique de la tuyère. On est réduit sur ce point à des conjectures, mais tout porte à croire que l'on pourra construire la tuyère en ma-

(1) Toutes ces pressions sont comptées au-dessus du vide absolu.

tière réfractaire (en carborundum poli, par exemple, comme l'auteur a pu le faire sans difficulté), de sorte que le refroidissement sera inutile ou négligeable.

Quant à la température finale admise pour la détente, elle a été jugée trop élevée par les uns, trop faible par les autres. Il résulte néanmoins de la discussion que la valeur de 700 degrés absolus adopté par nous est admissible et doit cependant plutôt être considérée comme une limite supérieure. On peut, en effet, éprouver des craintes sérieuses pour les aubages mobiles soumis à des températures supérieures à celle du rouge et brusquement refroidis par un jet de vapeur, ces effets, se répétant à des intervalles de temps de l'ordre de grandeur du 1/200 de seconde, semblent devoir amener rapidement des changements de texture moléculaire. Il n'en serait pas de même en se tenant au-dessous du rouge, c'est-à-dire aux environs de 700 degrés absolus.

Conclusion.

Malgré les critiques qui ont été adressées à nos calculs simplifiés du rendement thermique, les considérations précédentes semblent démontrer le bien fondé de nos conclusions générales, savoir :

1° Malgré ce qu'elles présentent de séduisant les *turbines à explosion* ne paraissent pas susceptibles de fournir une solution à bref délai, à cause de la difficulté de réaliser de très grandes détentes, ces grandes détentes étant nécessaires pour refroidir suffisamment les mélanges relativement riches que ces turbines nécessitent. En outre des difficultés pratiques considérables : soupape d'aval, régime d'écoulement variable, etc., s'opposent à la réalisation prochaine des turbines à explosion;

2° Dans l'état actuel de nos connaissances, les *turbines à combustion* sont beaucoup plus réalisables, mais à condition :

D'employer une grande détente (correspondant à un rapport de pression au moins égal à 30);

De comprimer suivant le mode isotherme;

D'échapper sous pression réduite au-dessous de celle de l'atmosphère;

D'échapper à 700 degrés absolus au plus sans recourir à un refroidissement artificiel ou une injection de gaz;

De faire de la récupération.

Nous ne croyons pas que l'on puisse demander des conclusions plus précises à une discussion de ce genre, et nous sommes

heureux que la discussion ait fourni l'occasion à notre Collègue M. Rey de produire, devant la Société, les résultats obtenus avec le premier grand compresseur multicellulaire qui ait été construit jusqu'ici. Ces résultats montrent la possibilité de réaliser la compression dans des conditions capables d'assurer aux turbines à combustion un rendement acceptable, car il ne faut pas limiter à 7 le rapport de détente (1), mais bien le porter à 30 environ en échappant sous pression réduite à 1/4 ou 1/5 d'atmosphère. Or, on peut espérer, comme nous l'avons vu, d'après les résultats obtenus à Béthune réaliser une solution de ce genre qui donnerait un effet utile total $\rho\eta$ de l'ordre de grandeur de 0,20 au moins.

Une turbine à gaz à combustion ainsi établie serait-elle plus simple qu'un moteur à gaz de haut fourneau, par exemple? C'est ce que l'expérience seule montrerait. Mais on peut être sûr qu'il se révélerait des applications auxquelles elle serait industriellement mieux adaptée. Cela seul justifierait les recherches théoriques et pratiques auxquelles ces machines donnent lieu.

On peut dire, en tout cas, avec notre Collègue M. Bochet, et ce sera notre conclusion, qu'il serait extrêmement désirable que les recherches de laboratoire nécessaires pour élucider les nombreux points encore obscurs de la théorie, soient bientôt entreprises dans notre pays. Des essais d'un caractère à la fois scientifique et industriel comme ceux qui se multiplient depuis quelques années dans les laboratoires des écoles techniques étrangères seraient le plus sûr moyen de conduire sans heurts la turbine à gaz vers sa réalisation pratique qui paraît n'être plus qu'une question de temps.

Erratum. — Dans quelques-uns des diagrammes donnant la valeur du rendement de différents cycles en fonction du rapport des pressions $\frac{p_1}{p_0}$ les courbes de rendement partent par erreur de l'origine des coordonnées. En réalité, ces courbes doivent partir du point $\rho = 0$ $\frac{p_1}{p_0} = 1$, très voisin d'ailleurs de l'origine.

Nota. — Par suite d'une regrettable erreur de transcription, le nom de M. *Belluzo*, auteur de l'ouvrage intitulé *La turbina a vapore ed a gaz*, a été remplacé par celui de M. Sartori, dans notre index bibliographique. Il y a lieu de lire : Belluzo.

(1) Le rendement total étant dans ce cas à peu près nul, comme le montrent nos calculs, d'accord, d'ailleurs, avec celui de M. Rey.

VII

LETTRE

DE

M. le Professeur Dr. STODOLA

MONSIEUR LE PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE,

« Dans le procès-verbal de la séance du 6 avril 1906, M. Deschamps en discutant le mémoire de M. Sekutowicz sur les turbines à gaz, donne aussi une critique de la démonstration sur » le mélange des gaz dans une trompe, qui se trouve dans mon » ouvrage sur les turbines à vapeur.

» M. Deschamps n'a peut-être pas lu les considérations sur lesquelles reposent mes formules; sans cela il se serait convaincu » que j'avais fait usage des principes fondamentaux de la mécanique et de la thermodynamique et cela d'une manière tout à » fait correcte. Il me semble donc une insinuation assez téméraire, pour appliquer le mot de M. Deschamps, de dire que » j'avais considéré comme corps mous des veines gazeuses.

» D'ailleurs, en vue de l'importance de l'appareil en discussion » pour l'industrie entière des turbo-moteurs, j'insiste sur le fait, » démontré par les deux cas spéciaux traités dans mon livre, » que la trompe, comme moyen de transformer l'énergie cinétique dans le but d'atteindre des vitesses moins élevées » ne pourra jamais donner un rendement satisfaisant.

» Veuillez agréer, etc...

» *Signé* : A. STODOLA. »

VIII

LETTRE

DE

M. Jules DESCHAMPS

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

» Permettez-moi de répondre au grief que me fait M. Stodola » dans la lettre que vous avez bien voulu me communiquer.

» C'est, contrairement à ce qu'il pense, après avoir consulté » son livre que j'ai cru devoir critiquer l'équation signalée.

» C'est d'ailleurs M. Sekutowicz qui a cité la formule, l'a » attribuée à M. Stodola, et a mis celui-ci en cause ; j'ajouterai » que la théorie des trompes a été exposée antérieurement par » M. Rateau, qui a donné cette même équation, en faisant tou- » tefois des réserves, et a fait remarquer qu'elle coïncidait avec » celle du choc des corps mous.

» A l'occasion de cette lettre, je voudrais réfuter les argu- » ments que M. Sekutowicz m'a opposés dans sa communication » écrite.

» Son raisonnement repose sur l'hypothèse que, dans le plan » où débouche le fluide actif, plan représenté en AA', sur la » figure jointe à sa note, la pression est la même dans le fluide » entraînant et le fluide entraîné.

» L'admettre est préjuger la solution. D'ailleurs, cette hypo- » thèse conduirait à des conséquences impossibles.

» En effet, il faudrait que cette pression soit sensiblement » inférieure, à celle de l'enceinte où est puisé le fluide entraîné, » faute de quoi il n'y aurait pas d'entraînement. On n'a qu'à » appliquer l'équation des quantités de mouvement à la masse » du fluide entraîné considéré isolément, depuis l'entrée de la » trompe jusqu'au plan AA', pour le vérifier.

» Cette pression uniforme serait donc inférieure aussi à celle » du fluide aspirant, puisque dans l'hypothèse choisie, les deux » fluides sont, au départ, à la même pression.

» En ce cas, la vitesse irait nécessairement en croissant, dans » l'ajutage, d'après l'équation des quantités de mouvement,

» appliquée cette fois, séparément au fluide actif, de l'enceinte » au plan AA'.

» Les forces vives des deux fluides augmenteraient donc, toutes » deux, dans ces trajets parallèles. C'est inadmissible, puisque » c'est l'énergie d'un des fluides qui est communiquée à l'autre. » Cela ne pourrait s'expliquer qu'au cas où le jet actif serait » formé de vapeur qui se condenserait, ce qui est le cas de » l'injecteur Giffard.

» Je ne discuterai pas les calculs de la trompe cylindrique, » pour cette raison péremptoire que c'est une forme arbitraire » donnée à une trompe.

» Il est intéressant, au point de vue critique, de se demander » quelle est l'origine de l'erreur que je viens de signaler. Il est » toujours séduisant d'élargir une question.

» La cause tient, à mon sens, à l'habitude que l'on a généra- » lement de considérer une masse gazeuse, dans une enceinte, » comme ayant, en toutes ses parties, ou au moins dans une tran- » che, la même pression et la même température. Ce n'est jamais » rigoureusement vrai. Les écarts sont souvent considérables.

» J'ai déjà fait observer combien un raisonnement semblable, » était défectueux pour les gaz, dans un cylindre de moteur à » gaz. Les températures peuvent y différer de 1000 degrés, de » la paroi refroidie au centre de la masse, ce qui fausse les spé- » culations basées sur les températures.

» Encore l'idée de la température en un point d'une masse » gazeuse est-elle assez précise à l'esprit.

» Mais la conception de la pression intérieure d'un élément » d'une masse gazeuse en mouvement est singulièrement plus » complexe.

» Sur une membrane, la poussée est différente, avec la direc- » tion de la membrane. La pression tangible, mesurable, est » donc variable avec l'orientation. L'idée de pression intérieure » devient conventionnelle.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes » sentiments les plus distingués.

» *Signé :* J. Deschamps. »

NOUVEAUX TYPES D'ABAQUES

LA CAPACITÉ ET LA VALENCE

EN NOMOGRAPHIE

PAR

M. Rodolphe SOREAU

Ce Mémoire ne traite que la première partie de ma récente Communication. La seconde partie, relative aux applications de la Nomographie à la recherche des lois physiques, fera l'objet d'un Mémoire ultérieur (1).

Les nouveaux abaques à alignement dont il va être question appartiennent à deux types bien distincts : les uns sont caractérisés par ce fait que plusieurs de leurs graduations se trouvent sur une même conique ou sur une même cubique ; les autres ont pour particularité la forme de l'alignement, qui s'obtient par une équerre dont le sommet se déplace sur une des échelles.

Je me propose surtout, en présentant ces abaques, de compléter, grâce à eux, certaines parties de la représentation graphique des équations.

En manière de conclusion, et pour établir un lien entre les diverses sortes d'abaques à alignement, anciens et nouveaux, je montrerai comment l'*ordre nomographique* permet d'obtenir une relation générale entre les caractères fonctionnels d'une équation et les caractères géométriques de tous les abaques à courbes cotées susceptibles de la représenter. Cette relation générale, je l'ai trouvée à l'aide de notions nouvelles, à savoir la *capacité* d'un support et la *valence* du système formé par ce support et les graduations qu'il porte. On ne lira peut-être pas sans quelque curiosité ces rapprochements, au moins inattendus, entre les conceptions sur l'architecture des abaques et les conceptions de la Chimie moderne sur l'architecture atomique.

(1) Au sujet du court historique donné dans le procès-verbal de cette Communication, M. d'Ocagne me prie de faire remarquer que sa méthode des points alignés a été publiée dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1884, et que la méthode beaucoup moins générale des abaques hexagonaux de M. Lallemand a été portée à la connaissance du public par une note insérée en 1886 dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. M. Lallemand l'avait, d'ailleurs, déjà exposée dans des feuilles autographiées, datées de 1885.

A. — Théorie générale de la représentation des équations d'ordre égal au nombre des variables

D'après la classification que j'ai proposée en 1901, l'équation générale à 3 variables d'ordre 3 est :

$$mf_1f_2f_3 + a_1f_2f_3 + a_2f_3f_1 + a_3f_1f_2 + b_1f_1 + b_2f_2 + b_3f_3 + n = 0 \quad [1]$$

et l'équation générale à 4 variables d'ordre 4 est :

$$\left.\begin{aligned} &mf_1f_2f_3f_4 + a_1f_2f_3f_4 + a_2f_3f_4f_1 + a_3f_4f_1f_2 + a_4f_1f_2f_3 \\ &\quad + b_{12}f_1f_2 + b_{13}f_1f_3 + b_{14}f_1f_4 + b_{23}f_2f_3 + b_{24}f_2f_4 + b_{34}f_3f_4 \\ &\quad + c_1f_1 + c_2f_2 + c_3f_3 + c_4f_4 + n = 0. \end{aligned}\right\} \quad [2]$$

L'une et l'autre ne contiennent qu'une seule fonction f_n d'une même variable x_n, et sont linéaires par rapport à chaque fonction f_n. La première est représentable par des abaques à alignement simple ; la seconde par des abaques à double alignement.

C'est M. d'Ocagne qui donna, en 1897, la première théorie de l'équation [1] dans les *Acta Mathematica* de Stockholm. En remplaçant cette équation par une autre, que j'ai appelée transformée en X, je retrouvai les résultats énoncés par cet éminent professeur, et je montrerai qu'on les obtient ainsi dans toute leur généralité, en simplifiant beaucoup la longue discussion de la méthode originelle.

C'est moi-même qui abordai le premier la théorie de l'équation [2], dans mon Mémoire de 1901, en utilisant encore la transformée en X. J'établis notamment que certaines conditions sont nécessaires pour que la proposée soit représentable par un abaque plan.

La même transformée m'a conduit à une démonstration simple et pratique d'une proposition formulée par M. G. Fontené, Inspecteur d'Académie à Paris, dans les *Nouvelles Annales de Mathématiques* de 1900. Elle donne aussi très aisément, pour les équations [1] et [2], les abaques coniques et les abaques cubiques que M. le docteur Clark, professeur à l'École polytechnique du Caire, a présentés au dernier Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, mais sans publier jusqu'à ce jour ses démonstrations.

Tous ces résultats, si parfaitement coordonnés par l'emploi de la transformée en X, constituent un ensemble qui peut prétendre au titre de théorie générale.

I. — Alignement simple.

La transformée en X de l'équation [1] est :

$$X_1X_2X_3 + \Sigma B_nX_n + 2N = 0.$$

On peut toujours mettre la proposée sous cette forme : il suffit pour cela, si m n'est pas nul, de poser $f_n = X_n - \frac{a_n}{m}$. Si $m = 0$, on revient de suite au cas $m \neq 0$ en remplaçant une ou plusieurs des fonctions f_n par leur fonction inverse.

1 — Abaques rectilignes.

Identifions la transformée avec

$$E = \begin{vmatrix} X_1 & \lambda_3 & \mu_2 \\ \mu_3 & X_2 & \lambda_1 \\ \lambda_2 & \mu_1 & X_3 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où les quatre équations :

$$\lambda_n\mu_n = -B_n$$

$$\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \mu_1\mu_2\mu_3 = 2N.$$

Les deux quantités $\lambda_1\lambda_2\lambda_3$, $\mu_1\mu_2\mu_3$ sont donc racines de l'équation :

$$x^2 - 2Nx - B_1B_2B_3 = 0.$$

La condition de réalité est

$$N^2 + B_1B_2B_3 \geqslant 0 \qquad \text{ou} \qquad \Delta \geqslant 0,$$

Δ étant le discriminant du premier membre, rendu homogène, de la transformée en X.

Je vais démontrer qu'on peut *toujours* ramener cette dernière à l'une des deux formes canoniques :

$$f_1f_2f_3 = 1$$

$$f_1 + f_2 + f_3 = 0$$

Premier cas : $\Delta > 0$. — Posons $\sqrt{\Delta} = R$, d'où $\lambda_1\lambda_2\lambda_3 = N + R$. $\mu_1\mu_2\mu_3 = N - R$. Puisque Δ n'est pas nul, il s'ensuit :

$$\lambda_1\lambda_2\lambda_3 - \mu_1\mu_2\mu_3 \neq 0,$$

que j'écris :

$$e = \begin{vmatrix} 0 & -\mu_2 & \lambda_3 \\ \lambda_1 & 0 & -\mu_3 \\ -\mu_1 & \lambda_2 & 0 \end{vmatrix} \neq 0,$$

d'où :

$$Ee = \frac{\lambda_1 X_1 - \mu_2\mu_3}{\mu_1 X_1 - \lambda_2\lambda_3} \cdot \frac{\lambda_2 X_2 - \mu_3\mu_1}{\mu_2 X_2 - \lambda_3\lambda_1} \cdot \frac{\lambda_3 X_3 - \mu_1\mu_2}{\mu_3 X_3 - \lambda_1\lambda_2} = 1.$$

C'est la première forme canonique. Il reste à expliciter les 6 paramètres réels $\lambda_n\ \mu_n$, dont 2 sont arbitraires, en fonction des coefficients B_n, N de la proposée.

1° Supposons $B_1B_2B_3 \neq 0$. En multipliant Ee par $\frac{\mu_1}{\lambda_1} \cdot \frac{\mu_2}{\lambda_2} \cdot \frac{\mu_3}{\lambda_3}$, on obtient de suite :

$$\prod \frac{B_nX_n + N - R}{B_nX_n + N + R} = \frac{N - R}{N + R}.$$

2° Supposons $B_1 = 0$, $B_2B_3 \neq 0$. On peut prendre $\mu_1 = 0$, ce qui entraîne $\lambda_1 \neq 0$. En multipliant Ee par $\frac{\mu_2}{\lambda_2} \cdot \frac{\mu_3}{\lambda_3}$, on a :

$$(B_2B_3 - 2NX_1) \cdot \frac{X_2}{B_2X_2 + 2N} \cdot \frac{X_3}{B_3X_3 + 2N} = 1.$$

3° Supposons $B_1 = 0$, $B_2 = 0$, $B_3 \neq 0$. On peut prendre $\mu_1 = 0$, ce qui entraîne $\lambda_1 \neq 0$, $\lambda_2 \neq 0$, $\mu_2 = 0$. On a de suite :

$$X_1X_2 \frac{X_3}{B_3X_3 + 2N} = -1.$$

4° Supposons $B_1 = 0$, $B_2 = 0$, $B_3 = 0$. La proposée est alors d'elle-même sous la forme canonique.

En résumé, pour $\Delta > 0$, la proposée est toujours réductible à la première forme canonique :

$$f_1f_2f_3 = 1.$$

Deuxième cas : $\Delta = 0$. — On a alors $\lambda_1\lambda_2\lambda_3 = \mu_1\mu_2\mu_3 = N$.

1° Supposons $N \neq 0$, ce qui implique qu'aucun des coefficients B_n n'est nul. On peut toujours prendre $\lambda_n = \mu_n$, les valeurs de ces paramètres étant d'ailleurs réelles ou imaginaires.

Multiplions la n^e ligne de E par λ_n et la n^e colonne par μ_n; nous obtenons des termes tels que $\lambda_1\mu_1 X_1 = -B_1X_1$, et $\lambda_1\lambda_3\mu_2 = \lambda_1\lambda_2\lambda_3 = N$. Le déterminant devient donc :

$$\begin{vmatrix} -B_1X_1 & N & N \\ N & -B_2X_2 & N \\ N & N & -B_3X_3 \end{vmatrix} = 0,$$

qu'on peut écrire :

$$\begin{vmatrix} \dfrac{B_1X_1}{B_1X_1+N} & 1 & 1 \\ \dfrac{N}{B_2X_2+N} & 1 & 0 \\ \dfrac{N}{B_3X_3+N} & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où :
$$\frac{B_1X_1}{B_1X_1+N} = \frac{N}{B_2X_2+2N} + \frac{N}{B_3X_3+N}.$$

2° Supposons $N = 0$, d'où $B_1B_2B_3 = 0$. Pour que la proposée soit réellement une fonction de 3 variables, un seul des coefficients B_n peut être nul, B_1 par exemple. L'équation en X s'écrit immédiatement :

$$X_1 + \frac{B_3}{X_2} + \frac{B_2}{X_3} = 0.$$

En résumé, pour $\Delta = 0$, la proposée est toujours réductible à la deuxième forme canonique :

$$f_1 + f_2 + f_3 = 0$$

Troisième cas : $\Delta < 0$. — La décomposition

$$f_1f_2f_3 = 1$$

donnée pour $\Delta > 0$ subsiste dans ce cas, mais les fonctions f_n contiennent des imaginaires. J'utiliserai plus loin cette remarque.

Pour avoir des fonctions à coefficients réels, recourons à la transformation suivante :

En posant $B_1B_2B_3 = \mathfrak{B}$, on a $N^2 + \mathfrak{B} < 0$, et aucun des coefficients B_n n'est nul; on peut donc poser $B_nX_n = f_n$, d'où :

$$f_1f_2f_3 + \mathfrak{B}(f_1 + f_2 + f_3) + 2\mathfrak{B}N = 0,$$

qui est une combinaison, par voie d'addition, des deux formes canoniques.

Faisons le changement de fonctions

$$f_n = \varphi_n \sqrt{-(N^2 + \mathfrak{B})} - N;$$

nous obtenons : $\dfrac{\Sigma\varphi_1 - \varphi_1\varphi_2\varphi_3}{1 - \Sigma\varphi_1\varphi_2} = \sqrt{-\dfrac{N^2}{N^2 + \mathfrak{B}}}.$

Posons $\varphi_n = \operatorname{tg} x_n$, $\sqrt{-\dfrac{N^2}{N^2 + \mathfrak{B}}} = \operatorname{tg} K$; cette relation devient :

$$\operatorname{tg}(x_1 + x_2 + x_3) = \operatorname{tg} K,$$

d'où, en passant des tangentes aux arcs :

$$\text{arc tg } \varphi_1 + \text{arc tg } \varphi_2 + \text{arc tg } \varphi_3 = K,$$

forme indiquée par M. Fontené.

En explicitant par rapport aux fonctions et coefficients de la transformée en X, on a finalement :

$$\sum \text{arc tg } \frac{B_n X_n + N}{\sqrt{-(N^2 + \mathfrak{B})}} = \text{arc tg } \sqrt{-\frac{N^2}{N^2 + \mathfrak{B}}}. \qquad [3]$$

qui est la deuxième forme canonique.

— En résumé, on peut *toujours* ramener l'équation générale [1] à l'une des deux formes canoniques. Or, M. d'Ocagne a montré que celles-ci peuvent être représentées : la première par un abaque à 3 droites non concourantes, et en particulier à 2

Fig 1

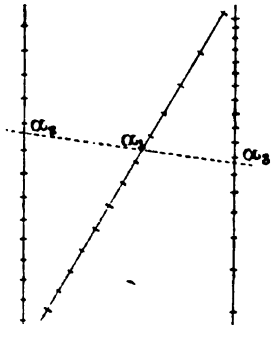
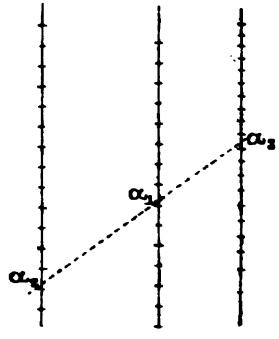


Fig 2



droites parallèles et 1 sécante (*fig. 1*) ; la seconde par un abaque à 3 droites concourantes, et en particulier à 3 droites parallèles (*fig. 2*).

Il n'est du reste pas nécessaire, dans les applications, de passer par l'intermédiaire des formes canoniques : il suffit

d'opérer la disjonction d'une façon quelconque. On obtient un abaque de la première famille si $\Delta > 0$, de la deuxième famille si $\Delta = 0$ ou si $\Delta > 0$. Il est toujours possible de passer d'une famille à l'autre par anamorphose logarithmique ou par anamorphose exponentielle,

$$f_1 f_2 f_3 = 1 \quad \text{donnant} \quad \log f_1 + \log f_2 + \log f_3 = 0,$$
$$f_1 + f_2 + f_3 = 0 \quad \text{donnant} \quad a^{f_1} a^{f_2} a^{f_3} = 1.$$

2 — Abaques coniques.

Dans toutes les hypothèses qu'on peut faire sur la nullité ou l'existence des B_n de notre transformée en X, il est visible qu'elle est symétrique au moins par rapport à 2 des fonctions $B_n X_n$: c'est une telle considération de *symétrie nomographique* qui a conduit M. Clark à placer les 2 échelles correspondantes sur une même conique.

1° Supposons que 2 des coefficients B_n ne soient pas nuls, par exemple B_2 et B_3, le 3e coefficient B_1 pouvant d'ailleurs être nul ou différent de zéro. Posons :

$$X_2 X_3 = x,$$
$$B_2 X_2 + B_3 X_3 = y.$$

On a donc le système :

$$\begin{aligned} X_1 x + \quad y + B_1 X_1 + 2N &= 0, \\ B_3 x - X_2 y + B_2 X_2^2 &= 0, \\ B_2 x - X_3 y + B_3 X_3^2 &= 0. \end{aligned}$$

L'élimination de x et de y donne une équation équivalente à la proposée, soit

$$\begin{vmatrix} (t) & (x) & (y) \\ \dfrac{X_1}{B_2 B_3} & -1 & B_1 X_1 + 2N \\ 1 & B_2 X_2 & (B_2 X_2)^2 \\ 1 & B_3 X_3 & (B_3 X_3)^2 \end{vmatrix} = 0.$$

2° Supposons que B_2 et B_3 soient nuls, B_1 pouvant d'ailleurs être nul ou différent de zéro. Posons :

$$X_2 X_3 = x$$
$$X_2 + X_3 = y,$$

d'où, en opérant comme ci-dessus :

$$\begin{vmatrix} {}^{(t)}X_1 & {}^{(x)}0 & {}^{(y)}B_1X_1 + 2N \\ 1 & X_2 & X_2^2 \\ 1 & X_3 & X_3^2 \end{vmatrix} = 0.$$

L'un et l'autre déterminants sont représentables par un abaque à alignement simple, l'échelle u_1 étant une droite, et les échelles u_2 et u_3 étant sur une même conique (*fig. 3*). Prenons par exemple pour coordonnées x, y, t les éléments des 2e, 3e et

Fig. 3

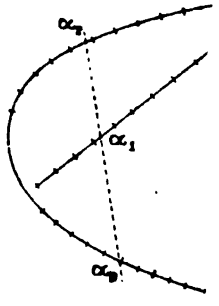
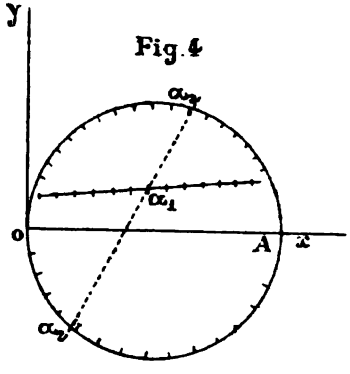


Fig. 4



1re colonnes, comme il est indiqué symboliquement sur les déterminants ; l'échelle rectiligne a pour support l'une des droites

$$y + 2Nx - 3 = 0.$$

$$x = 0.$$

Les échelles curvilignes sont sur la parabole

$$y^2 = x.$$

On peut du reste, par d'autres combinaisons des colonnes des déterminants, obtenir des coniques de genre différent. La double graduation dépend des coefficients de la proposée, mais la conique même est, pour chaque combinaison, *indépendante de ces coefficients.*

C'est ainsi qu'on obtient facilement un cercle en remplaçant la 3e colonne des déterminants ci-dessus par la somme des 1re et 3e colonnes :

$$\begin{vmatrix} {}^{(x)}aX_1 & {}^{(y)}b & {}^{(t)}cX_1 + d \\ 1 & \varphi_2 & 1 + \varphi_2^2 \\ 1 & \varphi_3 & 1 + \varphi_3^2 \end{vmatrix} = 0.$$

Les échelles u_2 et u_3 sont donc sur le cercle :

$$x^2 + y^2 - x = 0$$

décrit sur le diamètre OA $= 1$ porté sur l'axe des x *(fig. 4)*.

Ainsi, ***dans tous les cas***, l'équation [1] peut être représentée par un abaque circulaire. Je donnerai plus loin une autre méthode, très avantageuse en pratique, pour obtenir un tel abaque grâce à une transformation par fonctions circulaires.

3. — Abaques cubiques.

J'ai démontré que l'équation générale peut toujours se mettre sous l'une des formes :

$$\begin{aligned} f_1 f_2 f_3 &= 1 && \text{pour } \Delta > 0, \\ f_1 + f_2 + f_3 &= 0 && \text{pour } \Delta = 0, \\ f_1 f_2 f_3 + \mathfrak{B}(f_1 + f_2 + f_3) + 2\mathfrak{B}\mathrm{N} &= 0 && \text{pour } \Delta < 0, \end{aligned}$$

les fonctions f_n étant à coefficients réels.

Il n'est du reste pas indispensable, pour la représentation qu'on a en vue, de mettre l'équation sous l'une de ces formes ; il suffit plus généralement de la ramener, si elle n'y est déjà, à l'une des formes suivantes :

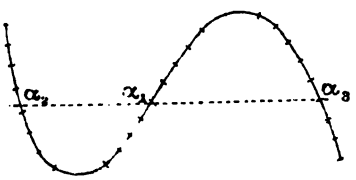
$$f_1 f_2 f_3 + \mathrm{A}\Sigma f_p f_q + \mathrm{B}\Sigma f_r + \mathrm{C} = 0. \qquad [a]$$

$$\Sigma f_p f_q + \mathrm{B}\Sigma f_r + \mathrm{C} = 0. \qquad [b]$$

$$\Sigma f_r = 0. \qquad [c]$$

Ces équations sont entièrement symétriques par rapport aux 3 fonctions f_n, d'où l'idée qu'a eue M. Clark de mettre leurs échelles sur une même cubique, que la droite d'alignement coupe en 3 points *(fig. 5)*.

Fig. 5



La forme [a] peut s'écrire :

$$\begin{vmatrix} f_1 + \mathrm{A} & f_1^2 - \mathrm{B} & f_1^3 + \mathrm{C} \\ f_2 + \mathrm{A} & f_2^2 - \mathrm{B} & f_2^3 + \mathrm{C} \\ f_3 + \mathrm{A} & f_3^2 - \mathrm{B} & f_3^3 + \mathrm{C} \end{vmatrix} = 0. \qquad [a]'$$

ou, abréviativement :

$$| f + A \qquad f^2 - B \qquad f^3 + C | = 0.$$

En effet, le développement de cette équation est :

$$| f f^2 f^3 | + A | 1 f^2 f^3 | + B | 1 f f^3 | + C | 1 f f^2 | = 0.$$

Or

$$| 1 f f^3 | = | 1 f f^2 | \times \Sigma f_r$$
$$| 1 f^2 f^3 | = | 1 f f^2 | \times \Sigma f_p f_q$$
$$| f f^2 f^3 | = | 1 f f^2 | \times f_1 f_2 f_3.$$

On vérifierait de même que la forme [*b*] peut s'écrire :

$$| 1 \qquad f^2 + Bf \qquad f^3 - Cf | = 0. \qquad [b]'$$

et la forme [*c*] :

$$| 1 \qquad f \qquad f^2 | = 0. \qquad [c]'$$

Remarque. — Les équations [1] d'ordre 3 peuvent toujours être ramenées à la forme [*c*]. Il est donc loisible, si on le désire, de les représenter *toutes* à l'aide d'une *seule* cubique :

$$y = x^3,$$

les valeurs des paramètres n'influant que sur les graduations des 3 échelles.

II. — Double alignement.

La transformée en X de l'équation [2] est :

$$X_1X_2X_3X_4 + \Sigma B_{pq}X_pX_q + \Sigma C_rX_r + 2N = 0.$$

On démontrerait, comme pour l'équation [1], qu'on peut toujours mettre la proposée sous cette forme.

J'ai établi (*Contribution à la théorie et aux applications de la Nomographie*, § 112), que le groupement de cette transformée sous la forme $F_{12} = F_{34}$, nécessaire pour obtenir un abaque plan, exige les conditions suivantes :

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{B_{13}}{B_{23}} = \frac{B_{14}}{B_{24}},$$

$$\frac{C_3}{C_4} = \frac{B_{13}}{B_{14}} = \frac{B_{23}}{B_{24}}.$$

M. le docteur Clark a bien voulu m'écrire pour me signaler qu'en mettant ces relations sous la forme équivalente

$$\frac{C_1C_3}{B_{13}} = \frac{C_1C_4}{B_{14}} = \frac{C_2C_3}{B_{23}} = \frac{C_2C_4}{B_{24}} = 2k,$$

la valeur du rapport $2k$ est :

$$2k = 2N - B_{12}B_{34},$$

ainsi qu'il est facile de le vérifier par les équations que j'ai données.

On a donc, pour le groupement $F_{12} = F_{34}$, 4 conditions nécessaires, et d'ailleurs suffisantes, car la proposée prend alors la forme :

$$(X_1X_2 + B_{34})(X_3X_4 + B_{12}) + \frac{1}{2k}(C_1X_1 + C_2X_2 + 2k)(C_3X_3 + C_4X_4 + 2k) = 0,$$

d'où le groupement :

$$\frac{X_1X_2 + B_{34}}{C_1X_1 + C_2X_2 + 2k} = -\frac{1}{2k}\,\frac{C_3X_3 + C_4X_4 + 2k}{X_3X_4 + B_{12}}. \qquad [4]$$

1. — Abaques rectilignes.

Considérons les deux discriminants

$$\Delta = k^2 + C_1C_2B_{34}.$$
$$\Delta' = k^2 + C_3C_4B_{12}.$$

En se reportant à la théorie que j'ai développée (*Contribution*, § 114), on voit que, pour les abaques *rectilignes* des types connus :

Si l'on a $\Delta > 0$, $\Delta' > 0$ ou $\Delta = 0$, $\Delta' = 0$: il existe au moins 1 famille d'abaques ;

Si l'on a $\Delta > 0$, $\Delta' = 0$, il existe 1 seule famille d'abaques ;

Si l'on a $\Delta > 0$, $\Delta' < 0$ ou $\Delta < 0$, $\Delta' < 0$: on ne peut obtenir d'abaques rectilignes par les méthodes connues.

Toutefois, pour $\Delta = \Delta' < 0$, il est un cas que l'on peut résoudre en utilisant le théorème de M. Fontené ; c'est celui où l'on a les 6 relations :

$$\frac{C_1C_2}{B_{12}} = \frac{C_1C_3}{B_{13}} = \frac{C_1C_4}{B_{14}} = \frac{C_2C_3}{B_{23}} = \frac{C_2C_4}{B_{24}} = \frac{C_3C_4}{B_{34}} = 2k \qquad [5]$$

qui comprennent les 4 conditions de groupement, et 2 conditions nouvelles.

Je démontrerai plus loin, en effet, qu'on peut alors, par des changements de fonctions convenables, mettre le groupement [4] sous la forme symétrique :

$$\frac{t_1 t_2 - m}{t_1 + t_2 + 2k} = \frac{t_3 t_4 - m}{t_3 + t_4 + 2k},$$

La condition $\Delta = \Delta' < 0$ entraîne $k^2 < m$. Dès lors, en appliquant la formule [3] aux deux équations

$$\frac{t_1 t_2 - m}{t_1 + t_2 + 2k} = \frac{1}{t}, \quad \frac{t_3 t_4 - m}{t_3 + t_4 + 2k} = \frac{1}{t},$$

on obtient, par élimination de la fonction auxiliaire :

$$\text{arc tg}\,\frac{t_1 + k}{\sqrt{m - k^2}} + \text{arc tg}\,\frac{t_2 + k}{\sqrt{m - k_2}} = \text{arc tg}\,\frac{t_3 + k}{\sqrt{m - k^2}} + \text{arc tg}\,\frac{t_4 + k}{\sqrt{m - k_2}},$$

équation représentable soit par un abaque rectiligne à double alignement concourant sur une droite de pivot, suivant la méthode générale de M. d'Ocagne (*fig. 6*), soit par un abaque

Fig. 6

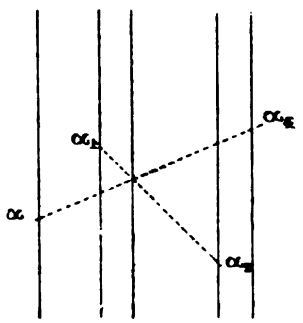
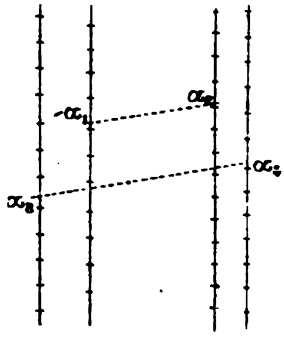


Fig. 7



rectiligne à double alignement parallèle, suivant la méthode générale que j'ai donnée (*fig. 7*).

2. — Abaques coniques.

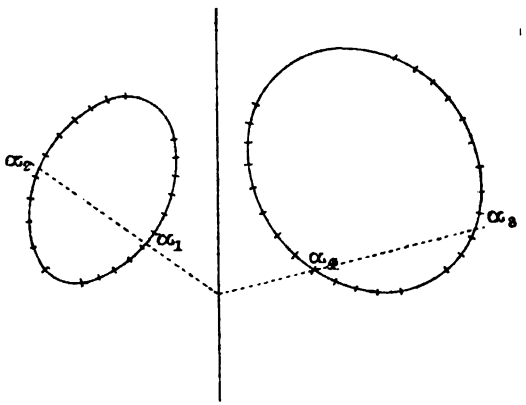
l'osons :

$$\left.\begin{aligned} \frac{X_1 X_2 + B_{34}}{C_1 X_1 + C_2 X_2 + 2k} &= \frac{1}{X}, \\ -\frac{1}{2k}\,\frac{C_3 X_3 + C_4 X_4 + 2k}{X_3 X_4 + B_{12}} &= \frac{1}{X}. \end{aligned}\right\} \quad [6]$$

Chacune de ces équations est représentable par un abaque conique, quels que soient Δ et Δ'. Les deux échelles auxiliaires X étant linéaires, on peut toujours transformer les déterminants de ces deux abaques coniques de façon que les échelles X soient superposables : on obtient alors un abaque à double alignement concourant formé par 2 coniques $(\alpha_1\alpha_2)$ $(\alpha_3\alpha_4)$ et 1 droite de pivot (*fig. 8*). Telle est la conséquence immédiate de la théorie de M. Clark.

Il est possible d'ailleurs d'appliquer à ces abaques ma théorie générale du double alignement, théorie dont les conséquences

Fig. 8



ont été ainsi appréciées par M. d'Ocagne. « Nos recherches ont reçu un prolongement de grande importance du fait des travaux de M. Soreau relatifs au double alignement. Dans sa *Contribution à la théorie et aux applications de la Nomographie*, cet Ingénieur, après avoir, par une autre marche, retrouvé les résultats que nous avions déjà obtenus dans le cas de simple alignement, a fait remarquer que les équations à 4 variables susceptibles d'être représentées par la méthode du double alignement pouvaient toujours être mises sous la forme :

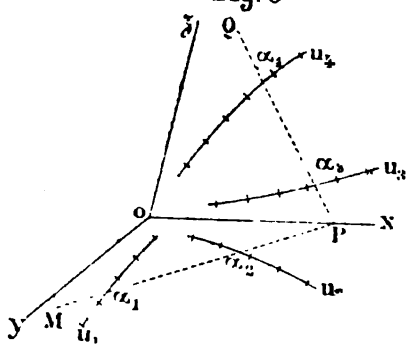
$$\begin{vmatrix} (x) & (y) & (z) & (t) \\ f_1 & \varphi_1 & 0 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & 0 & \psi_2 \\ f_3 & 0 & \varphi_3 & \psi_3 \\ f_4 & 0 & \varphi_4 & \psi_4 \end{vmatrix} = 0,$$

ce qui lui a permis d'aborder une théorie analogue pour des équations à 4 variables. » Et M. d'Ocagne signale ailleurs « la forme originale et féconde sous laquelle la théorie du double alignement se trouve exposée et généralisée dans ce Mémoire, ainsi que l'extension qui y est donnée à la représentation des équations à plus de 3 variables ».

Je vais rappeler en quelques mots le principe de ma théorie.

Rapportons les éléments du déterminant ci-dessus à 3 axes de coordonnées Ox, Oy, Oz *(fig. 9)* en égalant à x, y, z, t les

Fig. 9



éléments des 1re, 2e, 3e et 4e colonnes, ainsi qu'il est indiqué symboliquement sur le déterminant. Les deux points :

$$\begin{cases} x = \dfrac{f_1}{\psi_1} \\ y = \dfrac{\varphi_1}{\psi_1} \end{cases} \qquad \begin{cases} x = \dfrac{f_2}{\psi_2} \\ y = \dfrac{\varphi_2}{\psi_2} \end{cases}$$

sont sur deux courbes u_1 et u_2 situées dans le plan des xy. Les deux points :

$$\begin{cases} x = \dfrac{f_3}{\psi_3} \\ y = \dfrac{\varphi_3}{\psi_3} \end{cases} \qquad \begin{cases} x = \dfrac{f_4}{\psi_4} \\ y = \dfrac{\varphi_4}{\psi_4} \end{cases}$$

sont sur deux courbes u_3 et u_4 situées dans le plan des xz.

Or, toute solution $x_1\ x_2\ x_3\ x_4$ de la proposée est telle que les 4 points correspondants sont dans un même plan. Soient

MP son intersection avec le plan des xy, PQ son intersection avec le plan des xz. Rabattons celui-ci sur celui-là (ce qui se fait en posant $z = y'$) : nous obtenons un abaque à double alignement concourant sur la droite de pivot Ox.

Pour rejeter cette droite à l'infini, il suffit d'écrire le déterminant :

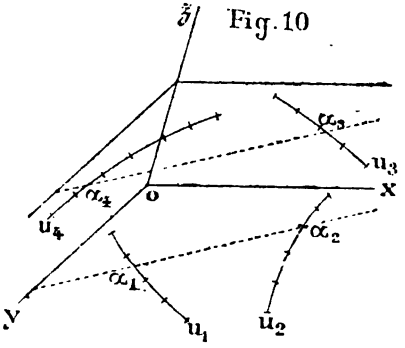
$$\begin{vmatrix} (x) & (y) & (z) & (t) \\ f_1 & \psi_1 & 0 & \varphi_1 \\ f_2 & \psi_2 & 0 & \varphi_2 \\ f_3 & \psi_3 & \varphi_3 & \varphi_3 \\ f_4 & \psi_4 & \varphi_4 & \varphi_4 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où les quatre courbes u_1, u_2, u_3, u_4 :

$$\begin{cases} x = \dfrac{f_1}{\varphi_1} \\ y = \dfrac{\psi_1}{\varphi_1} \\ z = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x = \dfrac{f_2}{\varphi_2} \\ y = \dfrac{\psi_2}{\varphi_2} \\ z = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x = \dfrac{f_3}{\varphi_3} \\ y = \dfrac{\psi_3}{\varphi_3} \\ z = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} x = \dfrac{f_4}{\varphi_4} \\ y = \dfrac{\psi_4}{\varphi_4} \\ z = 1 \end{cases}$$

Les courbes u_1 et u_2 sont dans le plan des xy, les courbes u_3 et u_4 dans un plan parallèle *(fig. 10)*. Toute solution α_1 α_2 α_3 α_4 étant figurée par 4 points de ces courbes qui sont dans un même plan, il s'ensuit que les deux droites α_1 α_2, α_3 α_4 sont parallèles. Projetons le plan $z = 1$ sur le plan $z = 0$, et nous avons un abaque à double alignement parallèle.

Fig. 10



Il était fort intéressant de mettre l'équation [4] sous l'une des 2 formes ci-dessus : c'est ce que j'ai fait en appliquant les procédés donnés au § 107 de mon Mémoire. Si l'on pose :

$$C_nX_n = t_n$$

$$t_n^2 + 2kt_n - l = f_n, \text{ avec } \begin{cases} l = C_1C_2B_{34} \text{ pour } n = 1 \text{ et } n = 2 \\ l = C_3C_4B_{12} \text{ pour } n = 3 \text{ et } n = 4 \end{cases}$$

$$-\frac{C_1C_2C_3C_4}{2k} = m,$$

on obtient la forme désirée :

$$\begin{vmatrix} 1 & f_1 & 0 & t_1 \\ 1 & f_2 & 0 & t_2 \\ t_3 & 0 & f_3 & m \\ t_4 & 0 & f_4 & m \end{vmatrix} = 0.$$

Pour rejeter à l'infini la droite de pivot et obtenir un abaque tel que celui de la figure 11, il suffit, comme je l'ai montré, de remplacer la 2e colonne par la somme des 2e et 3 colonnes.

3. — Abaques cubiques.

Chacune des deux équations [6] est représentable par un abaque cubique, mais l'accolement de ces abaques (*fig.* 12) sup-

Fig 11

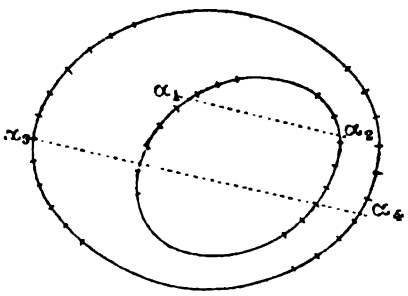
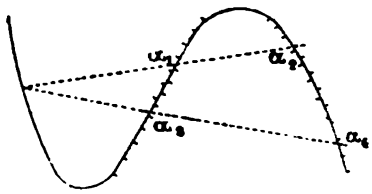


Fig. 12



pose que les deux échelles auxiliaires X soient identiques. Or on peut bien, suivant une remarque faite plus haut, prendre la même cubique pour les deux abaques, mais les deux graduations X ne seront superposables que sous certaines conditions.

Ce sont évidemment les conditions nécessaires et suffisantes pour que l'équation [4] puisse être ramenée, par un changement de fonctions approprié, à la forme symétrique générale :

$$\frac{\varphi_1\varphi_2 + A}{\varphi_1 + \varphi_2 + B} = \frac{\varphi_3\varphi_4 + A}{\varphi_3 + \varphi_4 + B}.$$

Or, si l'on égale chaque membre à $\frac{1}{\varphi}$, on obtient deux équations qui peuvent toujours, si $\frac{B^2}{4} \lessgtr A$, être mises sous la forme :

$$f_1 f_2 f = 1,$$
$$f_3 f_4 f = 1,$$

les 4 fonctions f_n étant à coefficients réels ou imaginaires, et la fonction f étant la même dans les deux équations, à cause de la symétrie de l'équation en $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$. Celle-ci doit donc pouvoir se transformer nécessairement en une autre, telle que :

$$f_1 f_2 = f_3 f_4.$$

Cela étant, revenons à l'équation [4]. En posant $C_n X_n = t_n$, $-\frac{C_1C_2C_3C_4}{2k} = m$, on l'écrit :

$$\frac{t_1t_2 + C_1C_2B_{34}}{t_1 + t_2 + 2k} = m\,\frac{t_3 + t_4 + 2k}{t_3t_4 + C_3C_4B_{12}}.$$

On peut la remplacer par la suivante, pourvu qu'on prenne $\lambda \neq \mu$:

$$\frac{t_1t_2 + C_1C_2B_{34} + \lambda(t_1 + t_2 + 2k)}{t_1t_2 + C_1C_2B_{34} + \mu(t_1 + t_2 + 2k)} = \frac{m(t_3 + t_4 + 2k) + \lambda(t_3t_4 + C_3C_4B_{12})}{m(t_3 + t_4 + 2k) + \mu(t_3t_4 + C_3C_4B_{12})}$$

ou

$$\frac{(t_1 + \lambda)(t_2 + \lambda) - \lambda^2 + 2k\lambda + C_1C_2B_{34}}{(t_1 + \mu)(t_2 + \mu) - \mu^2 + 2k\mu + C_1C_2B_{34}} = \frac{\lambda}{\mu}\,\frac{\left(t_3 + \frac{m}{\lambda}\right)\left(t_4 + \frac{m}{\lambda}\right) - \frac{m^2}{\lambda^2} + 2k\frac{m}{\lambda} + C_3C_4B_{12}}{\left(t_3 + \frac{m}{\mu}\right)\left(t_4 + \frac{m}{\mu}\right) - \frac{m^2}{\mu^2} + 2k\frac{m}{\mu} + C_3C_4B_{12}}.$$

Comme λ et μ sont arbitraires, nous les prendrons racines de l'équation,

$$x^2 - 2kx - C_1C_2B_{34} = 0,$$

pourvu que l'on ait $k^2 \neq C_1C_2B_{34}$. Le premier membre est alors de la forme f_1f_2; pour que le second membre soit de la forme f_3f_4, il faut que $\frac{m}{\lambda}, \frac{m}{\mu}$ soient racines de :

$$x^2 - 2kx - C_3C_4B_{12} = 0,$$

d'où

$$\lambda + \mu = 2k \qquad m\,\frac{\lambda + \mu}{\lambda\mu} = 2k,$$

$$\lambda\mu = -C_1C_2B_{34} \qquad \frac{m^2}{\lambda\mu} = -C_3C_4B_{12}.$$

En éliminant λ et μ entre ces 4 équations, on a les 2 conditions nécessaires cherchées. On trouve ainsi :

$$\frac{C_1C_2}{B_{12}} = \frac{C_3C_4}{B_{34}} = 2k.$$

Ces conditions, établies pour $\lambda \neq \mu$, c'est-à-dire pour $k^2 > m$ et $k^2 < m$, sont encore nécessaires à la limite, pour $k^2 = m$.

Je dis qu'elles sont suffisantes.

1° Supposons $\Delta \neq 0$. En remarquant que $C_1C_2B_{34} = C_3C_4B_{12} = -m$, la proposée [4] devient :

$$\frac{t_1t_2 - m}{t_1 + t_2 + 2k} = m\,\frac{t_3 + t_4 + 2k}{t_3t_4 - m}$$

Faisons les changements de fonctions suivants :

avec $m > 0$:

$$t_3 = \sqrt{m}\,\frac{f_3 + 2k + \sqrt{m}}{f_3 - \sqrt{m}} \qquad t_4 = \sqrt{m}\,\frac{f_4 + 2k + \sqrt{m}}{f_4 - \sqrt{m}};$$

avec $m < 0$:

$$t_3 = \sqrt{-m}\,\frac{f_3 + 2k - \sqrt{-m}}{f_3 - \sqrt{-m}} \qquad t_4 = -\sqrt{-m}\,\frac{f_4 + 2k + \sqrt{-m}}{f_4 + \sqrt{-m}}.$$

On obtient, dans l'un et l'autre cas, l'équation à coefficients réels :

$$\frac{t_1t_2 - m}{t_1 + t_2 + 2k} = \frac{f_3f_4 - m}{f_3 + f_4 + 2k}$$

qui est sous la forme symétrique cherchée.

Si, de plus, on avait $\Delta > 0$, il serait possible, comme on l'a vu, de mettre la proposée sous la forme

$$f_1f_2 = f_3f_4,$$

les fonctions f_n étant à coefficients réels. On aurait alors :

$$\mu\,\frac{t_1 + \lambda}{t_1 + \mu}\,\frac{t_2 + \lambda}{t_2 + \mu} = \lambda\,\frac{t_3 + \mu}{t_3 + \lambda}\,\frac{t_4 + \mu}{t_4 + \lambda},$$

λ et μ étant les racines réelles de

$$x^2 - 2kx + m = 0.$$

C'est l'extension de la proposition que j'ai donnée pour l'équation à 3 variables.

2° Supposons $\Delta = 0$, d'où $k^2 = m$. On a alors :

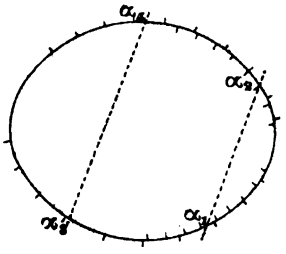
$$\frac{1}{t_1 + k} + \frac{1}{t_2 + k} = \frac{2}{k}\left(\frac{t_3 - k}{t_3 + k} + \frac{t_4 - k}{t_4 + k}\right).$$

En résumé, les 6 relations [5] réunissent les conditions nécessaires et suffisantes pour le groupement et pour la représentation de l'équation générale par des abaques cubiques accolés.

4 — Abaques a une seule conique.

Je vais démontrer — et, à ma connaissance, ce résultat n'a pas encore été énoncé, — que l'abaque cubique peut être remplacé par un abaque où les 4 échelles sont placées sur une *même* conique, avec ligne de pivot qu'on peut d'ailleurs rejeter à l'infini; dans ce dernier cas, la solution est donnée par le parallélisme

Fig. 13



de 2 cordes *(fig. 13)*, ce qui constitue une représentation extrêmement intéressante et commode.

En effet, l'équation

$$\frac{t_1 t_2 - m}{t_1 + t_2 + 2k} = \frac{t_3 t_4 - m}{t_3 + t_4 + 2k}$$

peut se représenter par les 2 abaques coniques accolés

$$\begin{vmatrix} t & 1 & -(mt + 2k) \\ 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \end{vmatrix} = 0 \qquad \begin{vmatrix} t & 1 & -(mt + 2k) \\ 1 & t_3 & t_3^2 \\ 1 & t_4 & t_4^2 \end{vmatrix} = 0.$$

En éliminant t entre ces deux déterminants par les procédés que j'ai indiqués *(Contribution* § 107*)*, on a de suite ma forme caractéristique

$$\begin{vmatrix} t_1 & t_1^2 + 2kt_1 + m & 0 & 1 \\ t_2 & t_2^2 + 2kt_2 + m & 0 & 1 \\ t_3 & 0 & t_3^2 + 2kt_3 + m & 1 \\ t_4 & 0 & t_4^2 + 2kt_4 + m & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

équation génératrice d'abaques à double alignement concourant ou parallèle, et pour lesquels les 4 échelles sont sur une même conique.

On en déduit, en particulier, l'abaque à double alignement parallèle représenté symboliquement par

$$\begin{vmatrix} (y) & (t) & (z) & (x) \\ t_1 + k & (t_1 + k)^2 - \Delta & 0 & 1 \\ t_2 + k & (t_2 + k)^2 - \Delta & 0 & 1 \\ t_3 + k & (t_3 + k)^2 - \Delta & (t_3 + k)^2 - \Delta & 1 \\ t_4 + k & (t_4 + k)^2 - \Delta & (t_4 + k)^2 - \Delta & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

La conique, support des 4 échelles, est

$$-\Delta x^2 + y^2 - x = 0,$$

c'est-à-dire une ellipse pour $\Delta < 0$, une parabole pour $\Delta = 0$, une hyperbole pour $\Delta > 0$.

Remarque. — L'abaque à 1 conique, et par suite l'abaque cubique, peuvent toujours être remplacés par un abaque dans lequel les 4 échelles sont sur un même cercle, la solution étant donnée par 2 cordes parallèles. Cette transformation est des plus faciles; en effet :

1° Si $\Delta < 0$, posons $-\Delta x^2 = x'^2$; l'équation de la conique ci-dessus devient

$$x'^2 + y^2 - \frac{x'}{\sqrt{-\Delta}} = 0.$$

2° Si $\Delta = 0$, la proposée peut être ramenée à la forme

$$f_1 + f_2 = f_3 + f_4.$$

Prenons sur une circonférence *(fig. 14)*, à partir d'une même origine O, 4 arcs tels que $OA_n = f_n$. On a donc :

$$OA_1 - OA_3 = OA_4 - OA_2$$

d'où :

$$A_1A_3 = A_4A_2.$$

Les deux cordes A_1A_2, A_3A_4 sont par suite parallèles.

3° Si $\Delta > 0$, la proposée peut être ramenée à la forme

$$f_1 f_2 = f_3 f_4,$$

d'où :

$$\log f_1 + \log f_2 = \log f_3 + \log f_4,$$

équation à laquelle on applique la méthode précédente.

Il est commode, dans les applications, de placer les échelles u_1 et u_2 sur un cercle, les échelles u_3 et u_4 sur un autre, ce qui ne

détruit pas le parallélisme des deux cordes *(fig. 15)*. On évite ainsi toute erreur dans l'association des cotes, puisque les cotes à associer sont sur un même cercle; et l'on étend à toute la cir-

Fig. 14

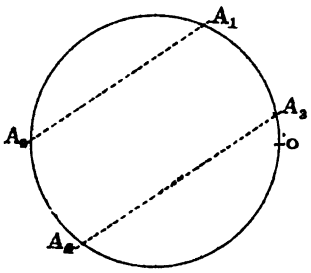
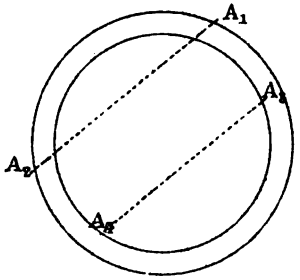


Fig. 15



conférence la longueur utilisable pour chaque échelle, tandis qu'avec un cercle unique il faut s'arranger de façon qu'un même arc ne porte pas plus de deux graduations.

Telle est la théorie générale des équations [1] et [2]. Je l'ai donnée avec soin, parce qu'elle est susceptible d'éclairer celle des équations d'ordre nomographique plus élevé. Je la résume brièvement :

L'équation générale [1] à 3 variables d'ordre 3 est, *dans tous les cas*, représentable par 3 sortes d'abaques à alignement, savoir : *a*) à 3 échelles rectilignes; *b*) à 1 échelle rectiligne et 2 échelles placées sur une même conique; *c*) à 3 échelles placées sur une même cubique.

L'équation générale [2] à 4 variables d'ordre 4 n'est représentable par des abaques plans que sous certaines conditions que j'ai appelées *conditions de groupement*; M. Clark a démontré que ces conditions, que j'avais trouvées nécessaires, sont suffisantes pour ledit groupement $F_{12} = F_{34}$.

Cela étant, l'équation est *toujours* représentable par un abaque à 4 échelles placées 2 à 2 sur une même conique (d'où 2 coniques).

Sous certaines conditions nouvelles, elle est représentable par un abaque à 4 échelles placées sur une cubique, ou encore sur une seule conique.

Elle n'est représentable par des abaques rectilignes que si les discriminants de F_{12} et de F_{34} ont des signes convenablement associés.

B. — Généralisations des abaques coniques.

1° Alignement simple.

Avant M. Clark, on avait représenté quelques formules par des abaques coniques. Toutefois, c'est bien à lui que revient le mérite d'avoir envisagé la représentation systématique par ce genre d'abaques.

Voici deux exemples antérieurs aux travaux de M. Clark :

1° Dans son important Mémoire sur l'*Intégration graphique*, publié en 1884 par les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, M. Massau, Ingénieur au Corps belge des Ponts et Chaussées, fut amené à considérer la représentation de l'équation à 3 variables

$$(m_1 f_1 + n_1)(m_2 f_2 + n_2) f_3 + (p_1 f_1 + q_1)(p_2 f_2 + q_2) \varphi_3 + (r_1 f_1 + s_1)(r_2 f_2 + s_2) \psi_3 = 0, \qquad [1]$$

où les f_n représentent des fonctions de α_n.

M. Massau obtint un abaque à entrecroisement formé de 3 systèmes de droites; les systèmes D_1 et D_2 sont constitués par les mêmes droites, tangentes à une conique.

M. d'Ocagne, qui transformait les abaques à entrecroisement composés de 3 systèmes de droites cotées en abaques à simple alignement composés de 3 courbes cotées, trouva donc un abaque conique en transformant l'abaque Massau. Il en donna l'application à la formule intérieure des murs de soutènement (*Traité de Nomographie*, § 84).

2° Un autre exemple est l'abaque elliptique qu'a trouvé M. le capitaine G. Ricci, par une élégante application des coordonnées parallèles (u, v) qui a quelque analogie avec la démonstration

(1) M. Ricci a considéré l'angle ψ supplémentaire de φ, d'où $-\cos\varphi = \cos\psi$.

que j'ai donnée ci-dessus (*Rivista di Artiglieria e Genio*, 1900, vol. 4). Ayant à représenter l'équation (1)

$$-\rho_1 \cos\varphi + a_1(\rho_1 - \cos\varphi) + \frac{1}{2}(1 + a_1^2) = 0,$$

qui se rencontre dans un problème de tir, M. Ricci posa :

$$-\rho_1 \cos\varphi = \frac{u + v + 1}{u + v}$$

$$\rho_1 - \cos\varphi = \frac{v - u}{u + v}.$$

Il en résulte pour les variables $\rho_1 = f_1$, $-\cos\varphi = f_2$, 2 équations telles que

$$(1 + f + f^2)u + (1 - f + f^2)v + 1 = 0,$$

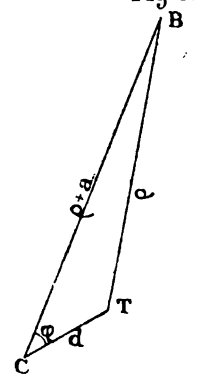
qui, en coordonnées cartésiennes, donnent des points :

$$\begin{cases} x = \dfrac{-f}{1+f^2} \\ y = \dfrac{-1}{2(1+f^2)} \end{cases}$$

dont le lieu est une ellipse commune aux 2 échelles (1).

Je vais construire l'abaque circulaire de l'équation ci-dessus en appliquant la méthode exposée à propos de l'équation d'ordre 3, et qui donne immédiatement les coordonnées cartésiennes des courbes.

Fig. 16



Tir avec observations télémétriques. — Soit (*fig. 16*) un canon C tirant sur un but B, dont on apprécie la distance à l'aide d'un télémètre placé en T.

La position du télémètre par rapport au canon étant définie par sa distance CT = d et par l'angle BCT = φ, il s'agit de calculer la correction a, positive ou négative, à faire sur la distance ρ, donnée par le télémètre, pour obtenir la vraie distance BC = $\rho + a$ du canon au but.

(1) Une faute de composition de la *Rivista*, où l'ordonnée du point ρ_1 est indiquée

$$\frac{-\frac{1}{2}\rho_1}{1+\rho_1^2}, \quad \text{au lieu de} \quad \frac{-\frac{1}{2}}{1+\rho_1^2},$$

m'a fait écrire à tort (*Contribution*, note de la page 377), que la solution du capitaine Ricci « me paraissait inexacte. »

Le triangle BCT donne :

$$\rho^2 = (\rho + a)^2 + d^2 - 2d\,(\rho + a)\cos\varphi,$$

d'où, en posant :

$$\frac{\rho}{d} = \rho_1, \qquad \frac{a}{d} = a_1,$$

$$-\rho_1\cos\varphi + a_1(\rho_1 - \cos\varphi) + \frac{1 + a_1^2}{2} = 0.$$

On peut écrire immédiatement :

$$\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_1^2 \\ 1 & -\cos\varphi & \cos^2\varphi \\ 1 & -a_1 & \dfrac{1 + a_1^2}{2} \end{vmatrix} = 0,$$

d'où l'abaque circulaire :

$$\begin{vmatrix} (y) & (x) & (t) \\ 1 & \rho_1 & 1 + \rho_1^2 \\ 1 & -\cos\varphi & 1 + \cos^2\varphi \\ 1 & -a_1 & \dfrac{3 + a_1^2}{2} \end{vmatrix} = 0.$$

L'abaque ainsi construit est la transformation de l'abaque elliptique de M. le capitaine Ricci ; les ordonnées sont simplement doublées.

Les échelles ne sont pas graduées avec les valeurs des rapports $\frac{\rho}{d}$, $\frac{a}{d}$, mais avec les distances et les corrections correspondant à la distance télémétrique habituelle, soit 400 *m*. Supposons que cette distance soit différente, 500 m., par exemple. Soient ρ,a les éléments réels, ρ',a' les éléments homologues du triangle semblable où $d = 400$ *m*. On a :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{a}{a'} = \frac{5}{4}.$$

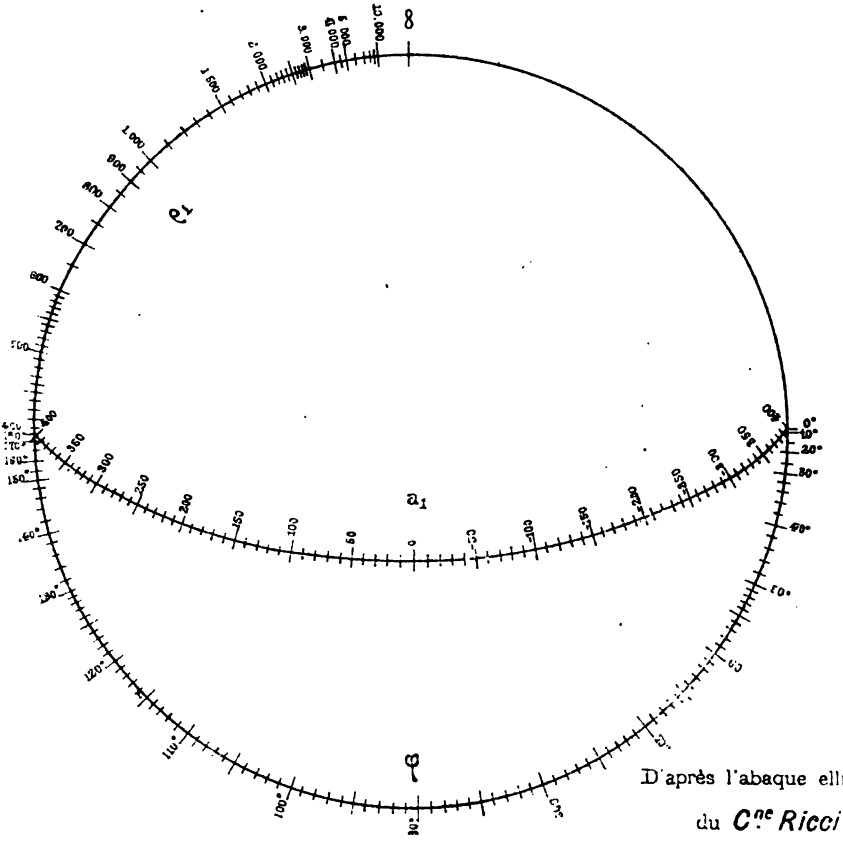
Il faudra donc prendre sur l'abaque le point $\rho' = \frac{4}{5}\rho$, lire la cote correspondante a', puis prendre $a = \frac{5}{4}a'$.

TIR FAIT AVEC OBSERVATIONS TÉLÉMÉTRIQUES

Correction de distance

Formule : $a_1(\rho_1 - \cos\varphi) - \rho_1 \cos\varphi + \frac{1+a_1^2}{2} = 0$

(Les échelles sont graduées en supposant le télémètre à 400^m de la batterie)



D'après l'abaque elliptique
du *C^ne Ricci*

Équation générale des abaques coniques.

Tout abaque conique à simple alignement peut se traduire par une relation telle que :

$$\begin{vmatrix} 1 & f_1 & f_1^2 \\ 1 & f_2 & f_2^2 \\ f_3 & -\varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0.$$

d'où : $$f_1 f_2 f_3 + (f_1 + f_2)\varphi_3 + \psi_3 = 0. \qquad [8].$$

Réciproquement, cette équation est l'équation générale cherchée. C'est précisément celle envisagée par le capitaine Ricci.

Elle est d'ordre 4 dans ma classification. Or, M. Clark démontre que toute équation de cet ordre peut se ramener soit à cette forme, soit à la forme :

$$f_1 f_3 + f_2 \varphi_3 + \psi_3 = 0,$$

qui est représentable par un abaque d'Ocagne à 2 droites parallèles et 1 courbe (*Contribution*, § 77). Il en résulte que *toute équation d'ordre 4 peut être représentée par un abaque à simple alignement*. C'est donc pour les équations de cet ordre que les abaques coniques seront utiles. Pour les équations d'ordre 3, toujours représentables par abaques rectilignes, ceux-ci seront en général préférables.

La disjonction de l'équation [8] étant opérée sous la forme caractéristique ci-dessus, il est aisé d'introduire des paramètres λ et μ permettant d'obtenir, dans chaque application, une bonne disposition de l'abaque. Il est visible, en effet, qu'on a :

$$\begin{vmatrix} 1 & \lambda f_1 + \mu & (\lambda f_1 + \mu)^2 \\ 1 & \lambda f_2 + \mu & (\lambda f_2 + \mu)^2 \\ f_3 & -\lambda\varphi_3 + \mu f_3 & \lambda^2\psi_3 - 2\lambda\mu\varphi_3 + \mu^2 f_3 \end{vmatrix} = 0.$$

J'ai indiqué précédemment comment on peut déduire un abaque *circulaire* d'un déterminant de cette forme, et j'en ai fait l'application à l'équation de la correction de la distance du tir avec observations télémétriques. J'ai imaginé une autre méthode, basée sur une transformation facile par fonctions circulaires ; cette méthode est généralement préférable au point de vue de la recherche d'une bonne disposition de l'abaque et de la rapidité du tracé.

Posons :

$$\lambda f_1 + \mu = \operatorname{tg} \frac{\omega_1}{2}, \qquad \lambda f_2 + \mu = \operatorname{tg} \frac{\omega_2}{2}, \qquad [9]$$

d'où, en supprimant les indices :

$$\frac{2(\lambda f + \mu)}{1 + (\lambda f + \mu)^2} = \sin \omega, \qquad \frac{1 + (\lambda f + \mu)^2}{1 + (\lambda f + \mu)^2} = \cos \omega.$$

Combinons les colonnes du déterminant de façon à obtenir pour les 2 premières lignes :

$$| \; 1 + (\lambda f + \mu)^2 \qquad 2(\lambda f + \mu) \qquad 1 - (\lambda f + \mu)^2 \; |$$

que nous pouvons remplacer par les quantités proportionnelles :

$$| \; 1 \qquad \sin \omega \qquad \cos \omega \; |$$

Les 2 échelles u_1 et u_2 sont donc sur le cercle $\rho = 1$, chaque point étant déterminé par la valeur de ω donnée par les équations [9]. Ces équations permettent de calculer très aisément les valeurs qu'il convient de donner à λ et à μ pour que les deux arcs utiles u_1 et u_2 aient le développement voulu et soient placés en face l'un de l'autre : car une table des tangentes donne rapidement les angles ω correspondant aux limites des arcs.

Cela fait, si l'on a gradué un cercle, une fois pour toutes, il suffit de placer une feuille de papier à calquer sur ce cercle divisé pour tracer rapidement les 2 échelles circulaires.

Je vais donner deux exemples d'abaques ainsi construits, l'un pour une équation d'ordre 3, l'autre pour une équation d'ordre 4.

Épaisseur des tuyaux et cylindres soumis à de fortes pressions intérieures. — Soient m le rapport entre l'épaisseur et le rayon intérieur, R le maximum de tension de la matière dans la paroi du tuyau, p la pression intérieure. La formule bien connue de Lamé :

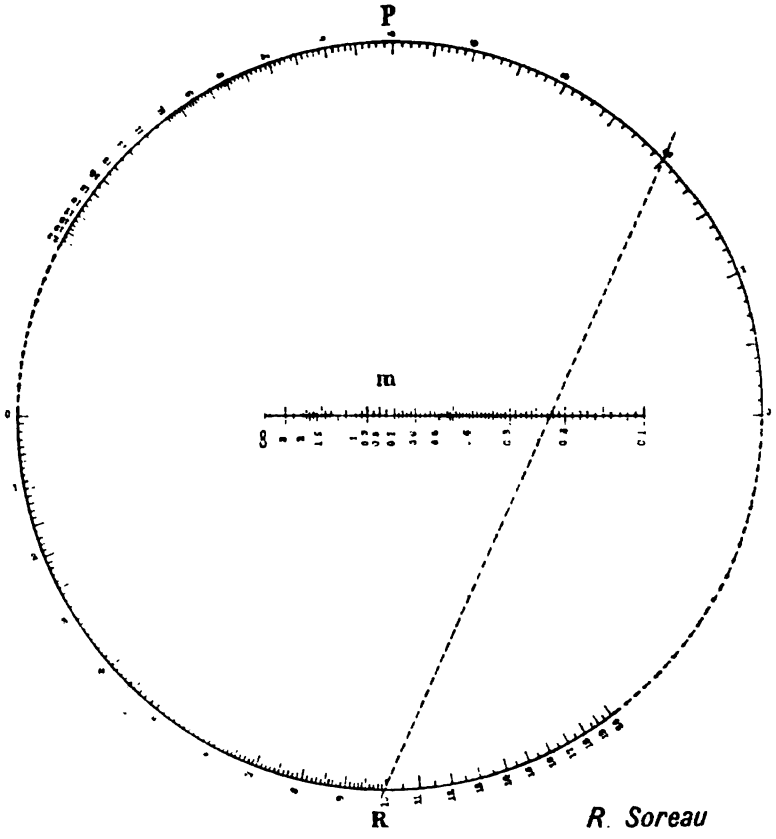
$$m = \sqrt{\frac{R + p}{R - p}} - 1$$

peut s'écrire :

$$- \frac{p}{R} + \frac{(1 + m)^2 - 1}{(1 + m)^2 + 1} = 0.$$

ÉPAISSEUR DES TUYAUX ET CYLINDRES

Formule de Lamé : $m = \sqrt{\frac{R+p}{R-p}} - 1$



R. Soreau

C'est l'équation générale [8] contenant le produit $-\frac{1}{R}p$, mais où manque la somme algébrique $p-\frac{1}{R}$.

Pour obtenir une bonne disposition, il convient de placer les échelles R et p chacune sur une demi-circonférence de part et d'autre de l'axe des x, de telle sorte que le sens croissant de chacune soit différent. C'est ce que j'ai obtenu en prenant :

$$\begin{vmatrix} 1 & \frac{p}{5} & \left(\frac{p}{5}\right)^2 \\ 1 & -\frac{10}{R} & \left(\frac{10}{R}\right)^2 \\ 1 & 0 & 2\frac{(1+m)^2-1}{(1+m)^2+1} \end{vmatrix} = 0.$$

d'où $\operatorname{tg}\frac{\omega_1}{2}=\frac{p}{5}$, $\operatorname{cotg}\frac{\omega_2}{2}=\frac{R}{10}$, $x=\frac{3-(1+m)^2}{3(1+m)^2-1}$.

Pour $p=R$, la proposée montre que $m=\infty$: donc les droites qui joignent les mêmes cotes de p et de R passent par un même point, marqué ∞ sur l'abaque.

Tous les diamètres passent par deux cotes p et R telles que $2p=R$.

La formule de Lamé étant d'ordre 3 peut aussi être représentée par un abaque rectiligne. J'ai donné cet abaque au § 69 de mon précédent Mémoire, et l'on peut ainsi comparer les deux genres d'abaques.

Rayon moyen d'un canal dont les talus sont inclinés à 1/1. — Si l'on désigne par b la largeur du plafond et par d la hauteur d'eau, le rayon moyen est donné par la formule :

$$R=\frac{\text{surf. de section}}{\text{périmètre mouillé}}=\frac{bd+d^2}{b+2\sqrt{2}\,d}.$$

Écrivons-la :

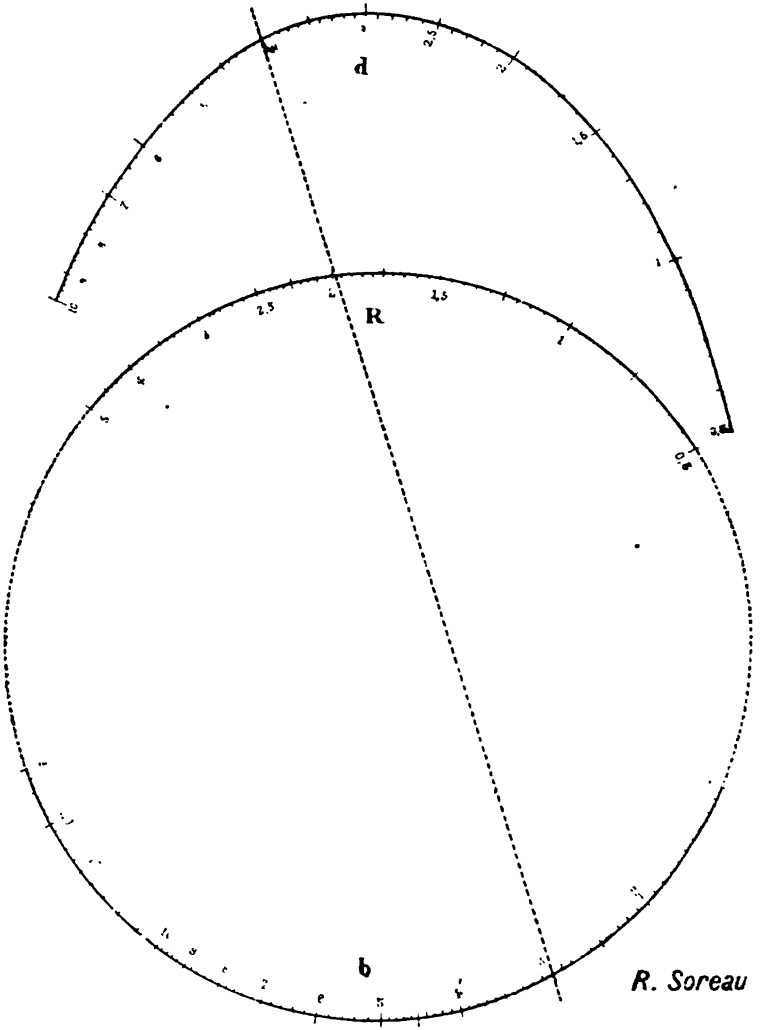
$$-2\sqrt{2}Rb\frac{1}{2\sqrt{2}\,d}-\left(2\sqrt{2}R-b\right)+d=0.$$

C'est la forme [8] ; donc :

$$\begin{vmatrix} 1 & 2\sqrt{2}R & (2\sqrt{2}R)^2 \\ 1 & -b & b^2 \\ \frac{1}{2\sqrt{2}d} & 1 & d \end{vmatrix} = 0.$$

RAYON MOYEN D'UN CANAL

dont les talus sont inclinés à 1/1



R. Soreau

J'ai construit l'abaque en posant :

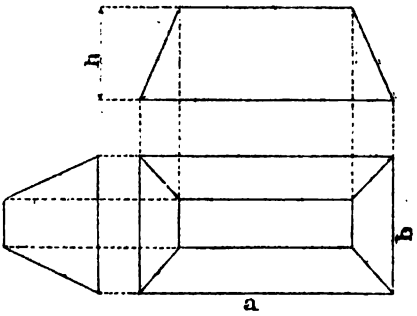
$$\operatorname{tg}\frac{\omega_1}{2} = \frac{2\sqrt{2}R}{5}, \qquad \operatorname{tg}\frac{\omega_2}{2} = -\frac{b}{5}.$$

Pour $b = 3$, $d = 4$, cet abaque donne bien $R = 1{,}95$.

Je vais maintenant donner un exemple d'un abaque conique présentant deux particularités : les 2 échelles coniques sont confondues, et la 3e échelle est remplacée par 2 systèmes de courbes entrecroisées (point double).

Faux tronc de pyramide. — J'appelle ainsi le volume compris entre deux rectangles à côtés parallèles, et quatre faces également inclinées sur ces rectangles : c'est la forme des tas de pierres sur les routes *(fig. 17)*.

Fig. 17



Soient a et b les dimensions de la grande base, p la pente des faces, h la hauteur. Le volume est :

$$V = h\left[\frac{4}{3}\left(\frac{h}{p}\right)^2 - \left(a+b\right)\frac{h}{p} + ab\right].$$

Posons : $h = h_1 p$, $V = V_1 p$.

(Pour la pente 1/1, h_1 et V_1 ne diffèrent pas de h et V).

La formule peut s'écrire :

$$V_1 = h_1\left[\frac{4}{3}h_1^2 - (a+b)\,h_1 + ab\right],$$

d'où :

$$\begin{vmatrix} (t) & (y) & (x) \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & b & b^2 \\ 1 & h_1 & \frac{4}{3}h_1^2 - \frac{V_1}{h_1} \end{vmatrix} = 0.$$

J'ai construit l'abaque avec les coordonnées indiquées symboliquement sur le déterminant, les axes de coordonnées formant un angle de 135°. Les échelles a et b sont confondues sur la parabole $y^2 = x$. Le poids double $(h_1 V_1)$ donne le système de parallèles :

$$y = h_1,$$

et la famille de courbes du troisième degré :

$$\frac{4}{3} y^3 - xy - V_1 = 0.$$

Pour $a = 4$, $b = 2$, $h_1 = 0{,}8$, la formule donne $V_1 = 3{,}242$; on lit aisément sur l'abaque $V_1 = 3{,}25$.

2. — Abaque de l'équation de M. Massau.

Puisque l'équation [7] est représentable par un abaque conique, on peut dire *a priori* qu'elle doit pouvoir se ramener à la forme générale ci-dessus. C'est ce que je vais établir.

Posons :

$$x = \frac{(m_1 f_1 + n_1)(m_2 f_2 + n_2)}{(r_1 f_1 + s_1)(r_2 f_2 + s_2)} \qquad y = \frac{(p_1 f_1 + q_1)(p_2 f_2 + q_2)}{(r_1 f_1 + s_1)(r_2 f_2 + s_2)}.$$

En éliminant f_1 et f_2 entre ces deux équations, on a le système suivant, donné par M. d'Ocagne :

$$\frac{p_2 s_2 - r_2 q_2}{m_1 f_1 + n_1} x + \frac{r_2 n_2 - m_2 s_2}{p_1 f_1 + q_1} y + \frac{m_2 q_2 - n_2 p_2}{r_1 f_1 + s_1} = 0$$

$$\frac{p_1 s_1 - r_1 q_1}{m_2 f_2 + n_2} x + \frac{r_1 n_1 - m_1 s_1}{p_2 f_2 + q_2} y + \frac{m_1 q_1 - n_1 p_1}{r_2 f_2 + s_2} = 0$$

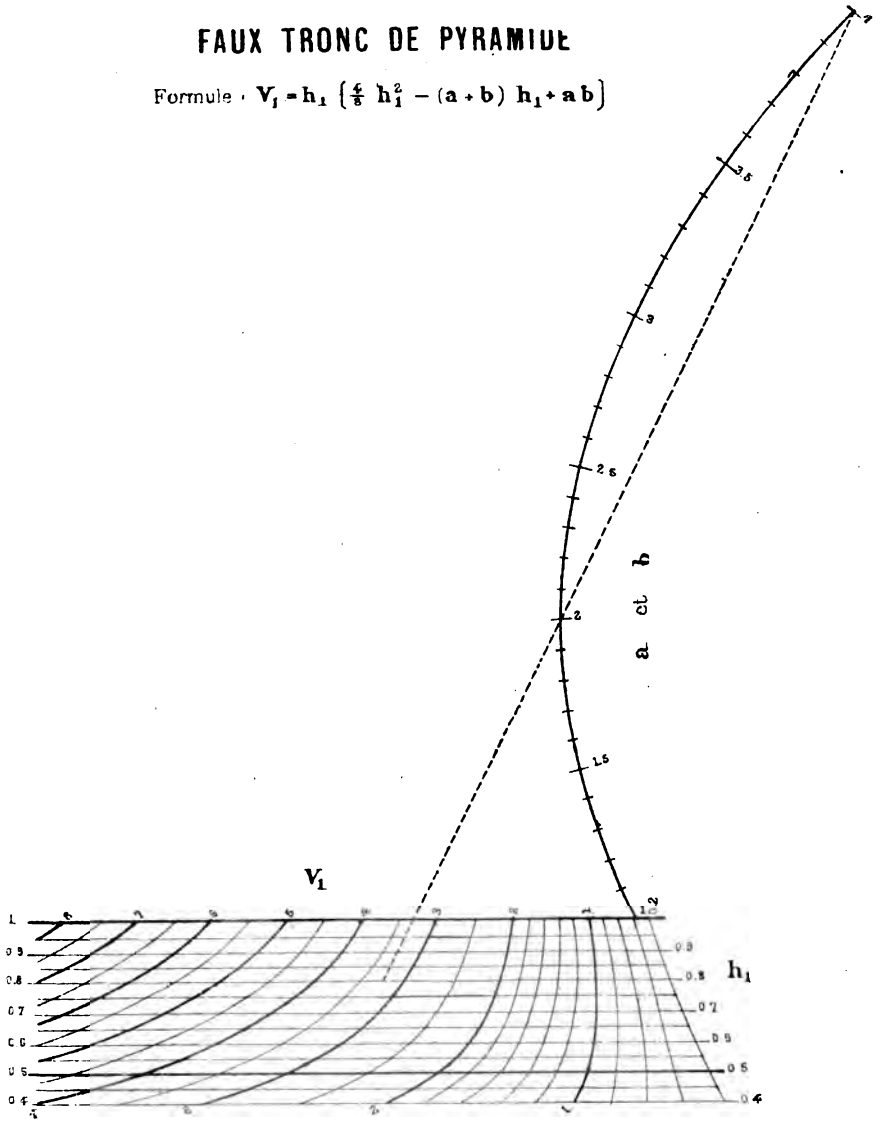
$$f_3 x + \varphi_3 y + \psi_3 = 0.$$

D'où l'équation génératrice :

$$\begin{vmatrix} \dfrac{p_2 s_2 - r_2 q_2}{m_1 f_1 + n_1} & \dfrac{r_2 n_2 - m_2 s_2}{p_1 f_1 + q_1} & \dfrac{m_2 q_2 - n_2 p_2}{r_1 f_1 + s_1} \\ \dfrac{p_1 s_1 - r_1 q_1}{m_2 f_2 + n_2} & \dfrac{r_1 n_1 - m_1 s_1}{p_2 f_2 + q_2} & \dfrac{m_1 q_1 - n_1 p_1}{r_2 f_2 + s_2} \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0.$$

FAUX TRONC DE PYRAMIDE

Formule : $V_1 = h_1 \left[\frac{4}{6} h_1^2 - (a+b) h_1 + ab \right]$



R Soreau

Pour en déduire la forme caractéristique cherchée, j'écris cette équation :

$$\begin{vmatrix} \dfrac{1}{(p_1s_1 - r_1q_1)(m_1f_1 + n_1)} & \dfrac{1}{(r_1n_1 - m_1s_1)(p_1f_1 + q_1)} & \dfrac{1}{(m_1q_1 - n_1p_1)(r_1f_1 + s_1)} \\ \dfrac{1}{(p_2s_2 - r_2q_2)(m_2f_2 + n_2)} & \dfrac{1}{(r_2n_2 - m_2s_2)(p_2f_2 + q_2)} & \dfrac{1}{(m_2q_2 - n_2p_2)(r_2f_2 + s_2)} \\ \dfrac{f_3}{(p_1s_1 - r_1q_1)(p_2s_2 - r_2q_2)} & \dfrac{\varphi_3}{(r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} & \dfrac{\psi_3}{(m_1q_1 - n_1p_1)(m_2q_2 - n_2p_2)} \end{vmatrix} = 0.$$

En ajoutant l'une quelconque des colonnes aux deux autres, par exemple la 2e à la 1re et à la 3e, on a :

$$\begin{vmatrix} \dfrac{(m_1q_1 - n_1p_1)(r_1f_1 + s_1)}{(p_1s_1 - r_1q_1)(m_1f_1 + n_1)(r_1n_1 - m_1s_1)\ p_1f_1 + q_1)} & \dfrac{1}{(r_1n_1 - m_1s_1)(p_1f_1 + q_1)} & \dfrac{(p_1s_1 - r_1q_1)(m_1f_1 + n_1)}{(r_1n_1 - m_1s_1)(p_1f_1 + q_1)(m_1q_1 - n_1p_1)(r_1f_1 + s_1)} \\ \dfrac{(m_2q_2 - n_2p_2)(r_2f_2 + s_2)}{(p_2s_2 - r_2q_2)(m_2f_2 + n_2)(r_2n_2 - m_2s_2)(p_2f_2 + q_2)} & \dfrac{1}{(r_2n_2 - m_2s_2)(p_2f_2 + q_2)} & \dfrac{(p_2s_2 - r_2q_2)(m_2f_2 + n_2)}{(r_2n_2 - m_2s_2)(p_2f_2 + q_2)(m_2q_2 - n_2p_2)(r_2f_2 + s_2)} \\ \dfrac{f_3}{(p_1s_1 - r_1q_1)(p_2s_2 - r_2q_2)} + \dfrac{\varphi_3}{(r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} & \dfrac{\varphi_3}{(r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} & \dfrac{\varphi_3}{(r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} + \dfrac{\psi_3}{(m_1q_1 - n_1p_1)(m_2q_2 - n_2p_2)} \end{vmatrix} = 0.$$

Divisons, dans chacune des deux premières lignes, par l'élément de la première colonne; nous avons la forme cherchée :

$$\begin{vmatrix} 1 & \dfrac{p_1s_1 - r_1q_1}{m_1q_1 - n_1p_1}\ \dfrac{m_1f_1 + n_1}{r_1f_1 + s_1} & \left(\dfrac{p_1s_1 - r_1q_1}{m_1q_1 - n_1p_1}\ \dfrac{m_1f_1 + n_1}{r_1f_1 + s_1}\right)^2 \\ 1 & \dfrac{p_2s_2 - r_2f_2}{m_2f_2 - n_2p_2}\ \dfrac{m_2f_2 + n_2}{r_2f_2 + s_2} & \left(\dfrac{p_2s_2 - r_2f_2}{m_2q_2 - n_2p_2}\ \dfrac{m_2f_2 + n_2}{r_2f_2 + s_2}\right)^2 \\ \dfrac{f_3}{p_1s_1 - r_1q_1)(p_2s_2 - r_2q_2)} + \dfrac{\varphi_3}{(r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} & \dfrac{-\varphi_3}{(r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} & \dfrac{\varphi_3}{r_1n_1 - m_1s_1)(r_2n_2 - m_2s_2)} + \dfrac{\psi_3}{(m_1q_1 - n_1p_1)(m_2q_2 - n_2p_2)} \end{vmatrix} = 0.$$

Dans les applications, cette équation permet de mettre de suite la formule envisagée sous la forme connue. En particulier, on peut immédiatement traduire cette forme en un abaque circulaire.

II. — Alignement multiple.

Je me bornerai à signaler l'intéressant abaque circulaire que j'ai imaginé pour représenter l'équation :

$$f_1 + f_2 + f_3 + f_n \ldots + f_n = 0,$$

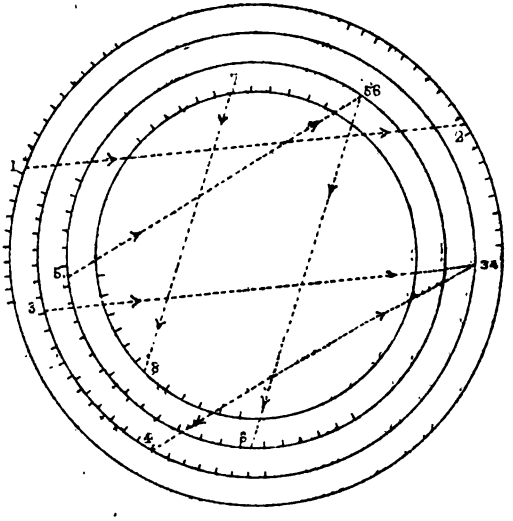
à laquelle se ramène, par anamorphose logarithmique, l'équation si fréquente dans la pratique :

$$f_1 f_2 f_3 \ldots f_n = 1.$$

Cet abaque utilise la propriété bien simple imaginée plus haut *(fig. 14)*. En effet, la proposée peut se remplacer par le système :

$$\begin{aligned}
f_1 + f_2 &= -f_3 + \lambda_{34} \\
\lambda_{34} + f_4 &= -f_5 + \lambda_{56} \\
\lambda_{56} + f_6 &= -f_7 + \lambda_{78} \\
&\cdots\cdots\cdots \\
&\cdots\cdots\cdots \\
\lambda_{p-1,p} + f_p &= \begin{cases} -f_{n-1} - f_n \text{ si } n \text{ est pair,} \\ -f_n \text{ si } n \text{ est impair.} \end{cases}
\end{aligned}$$

Fig. 18



Soit a_n l'inconnue, que je désignerai abréviativement par n. La 1re équation peut se représenter par 2 cercles concentriques C_{12}, C_{34}, où les cordes parallèles 1 — 2, 3 — 34 donnent le point auxiliaire 34. La 2e équation se représente alors par le cercle C_{34} et un nouveau cercle concentrique C_{56}, sur lesquels les cordes parallèles 34 — 4, 5 — 56 donnent le point auxiliaire 56, et ainsi de suite. Si n est pair, la dernière équation se représente par 2 cercles concentriques, et l'inconnue n est donnée par double alignement parallèle. Si n est impair, la dernière équation se représente par 1 cercle et son diamètre, et n est donnée par simple alignement.

Pour fixer les idées, je vais indiquer la suite des opérations sur la figure schématique 18 dans le cas de $n = 8$. En allant de l'extérieur vers l'intérieur, par exemple, chacun des 4 cercles porte 2 graduations, soit 1 et 2, 3 et 4, 5 et 6, 7 et 8, tracées l'une en dessus, l'autre en dessous. Le 1er cercle donne la direction initiale 1 — 2. Sur le 2e cercle, on mène à cette première direction la parallèle 3 — 34, d'où la direction nouvelle 34 — 4. Sur le 3e cercle, on mène à cette deuxième direction la parallèle 5 — 56, d'où la direction nouvelle 56 — 6. Sur le 4e cercle, on mène à cette troisième direction la parallèle 7 — 8, d'où l'inconnue 8.

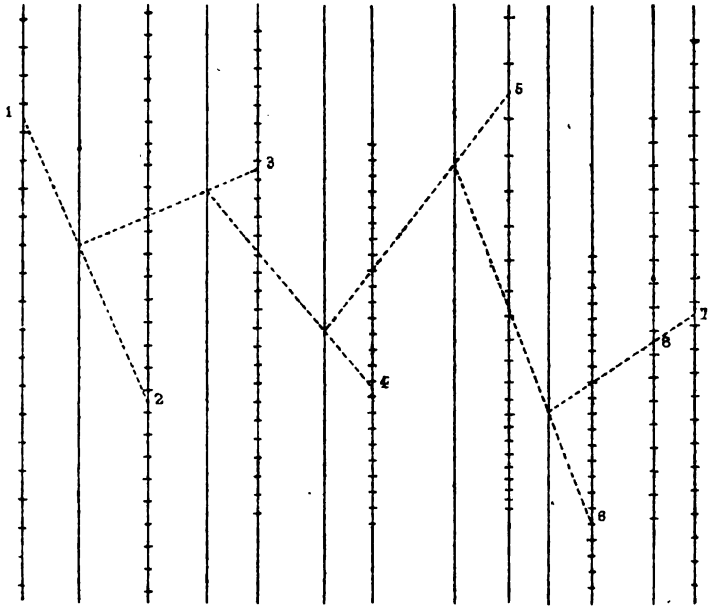
Les avantages de cet abaque sont nombreux : 1° le dessin n'est plus surchargé de lignes de pivot, les cercles intermédiaires en tenant lieu; 2° il n'y a plus de confusion possible entre ces lignes, chaque pivot étant sur le cercle qui porte le point d'où l'on vient et le point où l'on va; 3° les pivots ne risquent plus de tomber en dehors des limites de l'épure; 4° pour des dimensions données de la feuille de dessin, celle-ci se trouve bien mieux utilisée qu'avec un abaque rectiligne, tant à cause du plus grand développement des circonférences que de l'excellent groupement des échelles.

On se rend compte de ces avantages en comparant ce schéma avec celui que donne la méthode de M. d'Ocagne pour la même équation à 8 variables (*fig. 19*); il ne faut alors pas moins de 5 lignes de pivot.

Dans le but de réduire le nombre de ces lignes, j'ai imaginé en 1901 un dispositif dit *abaque à chevrons pliés*, qui permet, pour $n = 8$, de n'avoir qu'une ligne de pivot (*Contribution*, §§ 191 à 195; les 2 lignes de pivot qui figurent sur l'abaque que j'ai construit peuvent en effet être superposées). Ce dispositif réalisait donc

un notable progrès. Je pense toutefois qu'on pourra souvent lui préférer l'abaque circulaire.

Fig. 19



Afin de permettre la comparaison, je vais donner un tel abaque pour la formule de la vitesse initiale des projectiles, dont un abaque à chevrons pliés se trouve dans mon Mémoire de 1901 (*Contribution*, § 195).

Vitesse initiale des projectiles. — On connait les magistrales études de Sarrau sur les effets des explosifs; elles peuvent être considérées comme le modèle de l'application simultanée des mathématiques et de l'observation à l'analyse des phénomènes physiques. C'est ainsi que ce savant éminent est parvenu à chiffrer, d'une façon remarquablement exacte pour les anciennes poudres, la vitesse initiale d'un projectile en fonction des éléments caractéristiques de ce projectile, du canon et de la poudre.

Sa formule est :

$$V = A\,\varphi^{\frac{1}{2}}\,\omega^{\frac{3}{3}}\,\Delta^{\frac{1}{4}}\,c^{\frac{1}{3}}\,u^{\frac{1}{8}}\,p^{-\frac{1}{2}}\,F(x),$$

VITESSE INITIALE D'UN PROJECTILE

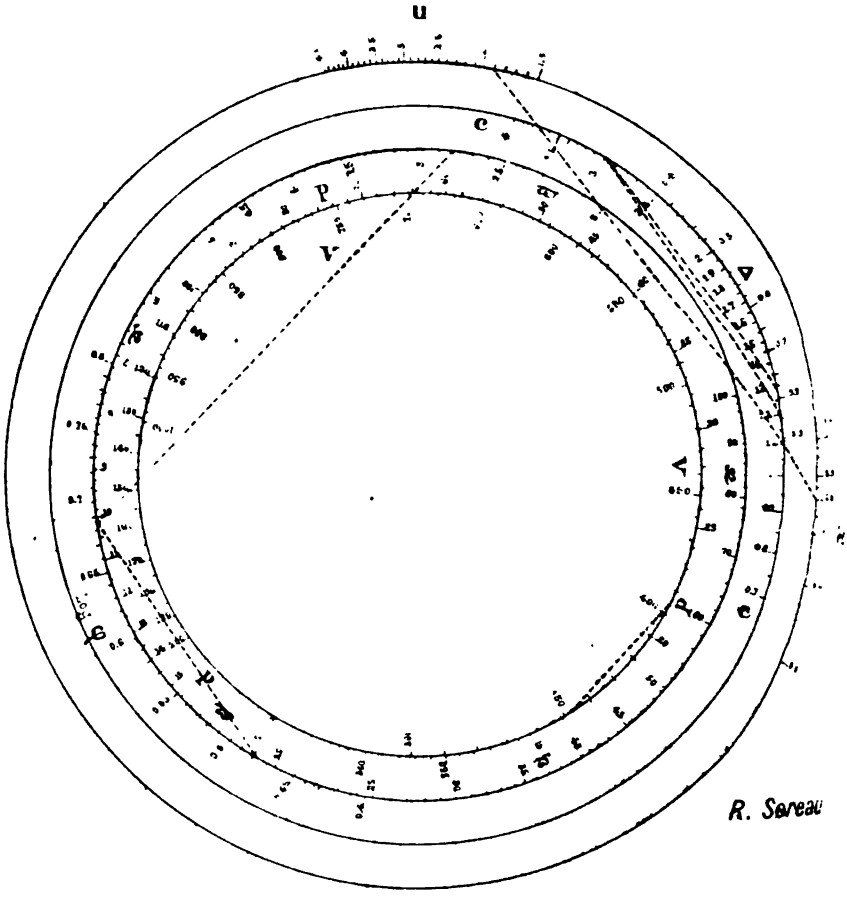
Formule de Sarrau : $V = A\,\varphi^{\frac{1}{2}}\,\varpi^{\frac{1}{2}}\,\Delta^{\frac{1}{2}}\,c^{\frac{1}{2}}\,u^{\frac{1}{2}}\,p^{\frac{1}{2}}\,F(x)$

Clé

x, u, Δ, α (pivot)

$\alpha, \omega, \log\varphi, \beta$ (pivot)

β, ϖ, p, V



où les lettres ont les significations suivantes :

V, vitesse en décimètres par seconde;

A, coefficient numérique tel que $\log A = \bar{1},9012$;

φ, coefficient balistique de la poudre; $\varphi = \frac{fa}{\lambda}$, f étant la force de la poudre, a et λ des constantes dépendant de la forme du grain;

ϖ, charge de poudre en kilogrammes;

Δ, densité de chargement, ou rapport entre la charge ϖ et le volume de la chambre en décimètres cubes;

c, calibre du canon, en décimètres;

u, parcours du projectile dans l'âme, en décimètres;

p, poids du projectile en kilogrammes;

$F(x) = \frac{1}{2} x^{\frac{1}{2}}(3 - x)$, x étant le module de vivacité de la poudre.

Les caractéristiques des poudres sont celles données par Sarrau, c'est-à-dire les caractéristiques rapportées à la poudre W 13-16.

Le tracé en pointillé sur l'abaque correspond au cas du canon de 120, tirant un projectile de 16,32 *kg* avec une charge de 2,80 *kg* de poudre SP_1, la densité de chargement étant 0,754. On a alors, avec les unitées adoptées pour les graduations de l'abaque :

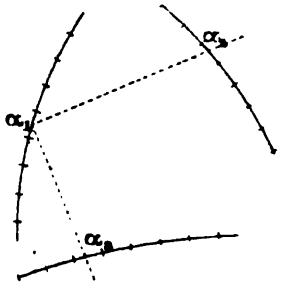
$$x = 0,8 \qquad u = 1,902 \qquad \Delta = 0,754 \qquad c = 120$$
$$\log \varphi = 0,481 \qquad \varpi = 2,80 \qquad p = 16,32.$$

Bien qu'à petite échelle, l'abaque donne facilement V = 405 *m*. La résolution très laborieuse de la formule, qui d'ailleurs nécessite des tables, donnerait 403,9 *m*.

C. — Abaques à alignement par équerre dont le sommet est sur une échelle.

Ce genre d'abaques, utilisé dans le profilomètre Siégler, a été sommairement envisagé par M. le capitaine Goedseels, professeur à l'École de guerre de Bruxelles. Il mérite, à mon avis, qu'on s'y arrête, car il peut permettre, ainsi que je vais le montrer, de remplacer 2 courbes figuratives d'une même variable par 1 seule courbe, de substituer de simples courbes cotées à des systèmes à entrecroisement, et enfin de représenter des équations pour lesquelles tout autre système d'abaques serait inapplicable.

Fig. 20



Soit un tel abaque *(fig. 20)*. On peut toujours le rapporter à des axes de coordonnées rectangulaires. Soient alors x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3 les coordonnées des points α_1 α_2 α_3 ; les droites $\alpha_1\alpha_2$, $\alpha_1\alpha_3$ ont pour coefficients angulaires $\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$, $\frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3}$, et la condition de perpendicularité donne :

$$\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{-x_1 + x_3}{y_1 - y_3}.$$

Si donc on a une équation :

$$\frac{f_1 + f_2}{\varphi_1 + \varphi_2} = \frac{-\varphi_1 + f_3}{f_1 + \varphi_3}, \qquad [10]$$

on peut évidemment la représenter par un abaque du type considéré avec les 3 courbes :

$$\begin{cases} x_1 = \lambda\varphi_1 \\ y_1 = \lambda f_1 \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = -\lambda\varphi_2 \\ y_2 = -\lambda f_2 \end{cases} \quad \begin{cases} x_3 = \lambda f_3 \\ y_3 = -\lambda\varphi_3, \end{cases}$$

pourvu qu'on prenne *des axes de coordonnées rectangulaires, et le même module pour les abscisses et pour les ordonnées.*

Si la proposée est :

$$\frac{f_1 + f_2}{\varphi_1 + \varphi_2} = \frac{F_1 + f_3}{\Phi_1 + \varphi_3}, \qquad [11]$$

il suffit qu'on puisse, par les propriétés bien connues des rapports, la transformer en une autre :

$$\frac{(\lambda f_1 + \mu\varphi_1) + F_2}{(\lambda' f_1 + \mu'\varphi_1) + \Phi_2} = \frac{(\lambda' F_1 + \mu\Phi_1) + F_3}{(\lambda' F_1 + \mu'\Phi_1) + \Phi_3},$$

telle que

$$\lambda f_1 + \mu\varphi_1 = \lambda' F_1 + \mu'\Phi_1,$$
$$\lambda F_1 + \mu\Phi_1 = -\lambda' f_1 - \mu'\varphi_1.$$

On verra s'il est possible de déterminer des paramètres $\lambda, \mu, \lambda', \mu'$ satisfaisant à ces deux relations, avec $\lambda\mu' \neq \lambda'\mu$.

Dans les formules de la pratique, $f_1\varphi_1 F_1\Phi_1$ sont généralement des fonctions linéaires $a\psi_1 + a'$, $b\psi_1 + b'$... d'une même fonction ψ_1, et la mise de l'équation [11] sous la forme [10] se fait alors très simplement. Remarquons d'ailleurs qu'on peut supposer les constantes $a'b'$.., incorporées dans les autres fonctions $f_2\varphi_2 f_3\varphi_3$; dès lors $f_1\varphi_1 F_1\Phi_1$ se trouvent réduites à $a\psi_1$, $b\psi_1$...

C'est ce que je vais montrer sur plusieurs exemples dont je donne plus loin les abaques.

Soit la formule :

$$\frac{\dfrac{1}{\operatorname{tg}\theta}}{\dfrac{\varpi H^2}{2P}} = \frac{\dfrac{1}{\cos\varphi_1}}{\dfrac{1}{\operatorname{tg}\theta} + \operatorname{tg}\varphi_1}.$$

Elle est d'elle-même sous la forme [10], et l'on a immédiatement les 3 courbes (le sommet étant sur l'échelle θ) :

$$\begin{cases} x_1 = 0 \\ y_1 = \dfrac{1}{\operatorname{tg}\theta} \end{cases} \qquad \begin{cases} x_2 = -\dfrac{\varpi H^2}{2P} \\ y_2 = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} x_3 = \dfrac{1}{\cos\varphi_1} \\ y_3 = -\operatorname{tg}\varphi_1 \end{cases}$$

Soit la formule :

$$\frac{\dfrac{1}{K}}{\dfrac{1}{p}} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2\varphi}{\dfrac{1}{3K} - \operatorname{tg}\varphi}.$$

Il suffit de multiplier par 3 le numérateur et le dénominateur du 2e rapport pour avoir la forme [10], d'où les 3 courbes (le sommet étant sur l'échelle K):

$$\begin{cases} x_1 = 0 \\ y_1 = \dfrac{1}{K} \end{cases} \qquad \begin{cases} x_2 = -\dfrac{1}{p} \\ y_2 = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} x_3 = 3(1 + \operatorname{tg}^2\varphi) \\ y_3 = 3\operatorname{tg}\varphi \end{cases}$$

Soit la formule :

$$\frac{\frac{1}{d}}{\frac{1}{R}} = \frac{\frac{1}{d} + \frac{m}{b}}{\frac{1}{d} + \frac{2\sqrt{1+m^2}}{b}}$$

Écrivons la :

$$\frac{\frac{1}{d} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{R}} = \frac{-\frac{2\sqrt{1+m^2} - m}{b}}{\frac{1}{d} + \frac{2\sqrt{1+m^2}}{b}},$$

d'où les 3 courbes (le sommet étant sur l'échelle d) :

$$\begin{cases} x_1 = 0 \\ y_1 = \frac{1}{d} \end{cases} \qquad \begin{cases} x_2 = -\frac{1}{R} \\ y_2 = \frac{1}{R} \end{cases} \qquad \begin{cases} x_3 = \frac{-2\sqrt{1+m^2} - m}{b} \\ y_3 = -\frac{2\sqrt{1+m^2}}{b} \end{cases}$$

Tous ces procédés se présentent très simplement comme cas particulier de ma théorie générale du double alignement. En effet, l'équation [11] peut s'écrire, d'après ce que j'ai établi au § 110 de mon précédent Mémoire :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & 0 & 1 \\ -f_2 & -\varphi_2 & 0 & 1 \\ F_1 & \Phi_1 & 1 & 1 \\ -f_3 & -\varphi_3 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

qui est représentable par un abaque à double alignement parallèle (u_1u_2) (v_1u_3) *quel que soit l'angle des axes de coordonnées.* Pour transformer cet abaque en un abaque à double alignement en équerre, il suffit de faire tourner de 90° la figure (v_1u_3). Si les 2 échelles u_1v_1 peuvent être transformées en échelles superposables, on s'en aperçoit de suite, et il est bien facile de faire sur le déterminant les opérations convenables pour obtenir cette superposition. On bénéficie ainsi, pour les formules tant soit peu compliquées, de la souplesse des calculs sur les déterminants.

Reprenons le cas où $f_1\varphi_1F_1\Phi_1$ sont des fonctions linéaires d'une même fonction ψ_1, comme il arrive presque toujours dans les applications. On peut alors les prendre égales à $a\psi_1$, $b\psi_1$, $c\psi_1$, $d\psi_1$. Je dis qu'il est alors *toujours* possible de superposer les 2 échelles de la variable x_1, lesquelles sont alors rectilignes.

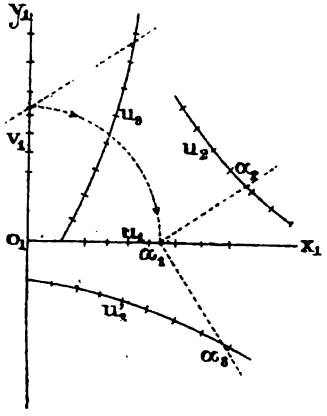
1° Supposons que leurs supports soient parallèles dans l'abaque à double alignement parallèle obtenu comme il vient d'être dit. La figure $(v_1 u_3)$ peut être amplifiée de façon que la graduation de son échelle v_1 devienne identique à celle de u_1, les 2 échelles restant parallèles. Transportons cette figure parallèlement à elle-même de façon à superposer ces échelles : nous transformons ainsi l'abaque à double alignement parallèle en un abaque à simple alignement.

2° Supposons que leurs supports ne soient pas parallèles. Rendons encore les 2 échelles u_1 et v_1 identiques, puis prenons sur chacune d'elles deux points de même cote o et o'. Rapportons la figure $(u_1 u_2)$ aux axes ox, oy dont le premier coïncide avec u_1 et dont le deuxième est parallèle à v_1; rapportons la figure $(v_1 u_3)$ aux axes $o'x'$, $o'y'$ dont le premier est parallèle à u_1 et dont le deuxième coïncide avec v_1. Les transformations de coordonnées nécessaires permettraient d'obtenir ainsi une équation telle que :

$$\begin{vmatrix} (x_1) & (y_1) & & \\ \chi_1 & 0 & 0 & 1 \\ f'_2 & \varphi'_2 & 0 & 1 \\ 0 & \chi_1 & 1 & 1 \\ f'_3 & \varphi'_3 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Faisant abstraction des axes de coordonnées, d'ailleurs quelconques, précédemment considérés, rapportons cette équation à deux axes de coordonnées rectangulaires $O_1 x_1$, $O_1 y_1$ *(fig. 21)* : on a un abaque à double alignement parallèle dont les deux échelles identiques u_1 et v_1 sont sur les axes de coordonnées ; cet abaque est immédiatement transformable, par une rotation de 90°, en un abaque à équerre n'ayant qu'une échelle u_1.

Fig. 21



Outre la souplesse de cette méthode, il suffit de demander à la mémoire de retenir la forme simple et très caractéristique du déterminant que j'ai donnée pour le double alignement parallèle, forme devenue d'un usage constant dans les applications. En

rattachant ainsi les diverses méthodes, on possède, groupé dans une seule norme facile à se rappeler, un moyen de représenter un grand nombre de formules de la Mécanique.

Au reste, ce qui sera dit plus loin sur l'ordre nomographique montrera combien il est logique de considérer les abaques en équerre avec sommet sur une échelle comme un cas particulier du double alignement.

Je vais donner quelques exemples de ce genre d'abaques.

Poussée des terres. — La poussée des terres sur un mur vertical de soutènement peut se calculer par la formule suivante, due à M. Boussinesq :

$$P = \varpi \frac{H^2}{2} \frac{tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos\left[\varphi_1 - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right]};$$

P, poussée en tonnes par mètre carré ;

ϖ, poids de la terre en tonnes par mètre cube ;

H, hauteur du mur, en mètres ;

φ, angle de frottement des terres sur elles-mêmes ;

φ_1, angle de frottement des terres sur la maçonnerie.

J'ai donné l'abaque hexagonal, construit par M. Renard, abaque que j'ai transformé en une réglette d'un maniement facile sur le terrain *(Contribution*, §§ 171 et 203*)*.

La formule de M. Boussinesq peut s'écrire, en posant $\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} = \theta$,

$$\frac{\frac{1}{tg\,\theta}}{\frac{\varpi H^2}{2P}} = \frac{\frac{1}{\cos\varphi_1}}{\frac{1}{tg\,\theta} + tg\,\varphi_1}$$

d'où :

$$\begin{vmatrix} (x) & (y) & & (t) \\ \frac{1}{tg\,\theta} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{\varpi H^2}{2P} & 0 & 1 \\ \frac{1}{\cos\varphi_1} & -tg\,\varphi_1 & 1 & 1 \\ 0 & \frac{1}{tg\,\theta} & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

En prenant des axes de coordonnées rectangulaires, on a l'abaque représenté schématiquement par la figure 22. Une rotation de 90° de la figure (φ_1 θ), fait coïncider les 2 échelles θ, c'est-à-dire φ. Quant à l'échelle ternaire $u = \frac{\varpi H^2}{2P}$, il suffit de mener par l'origine une droite quelconque, sur laquelle on trace 2 échelles ϖ et P de façon que

$$\frac{u}{\varpi} = \frac{H^2}{2P},$$

ce qui donne sur Oy, avec une 3e échelle H placée sur cet axe, une quatrième proportionnelle par double alignement parallèle.

Tel est l'abaque. Pour les faibles valeurs de H et de P,

Fig. 22

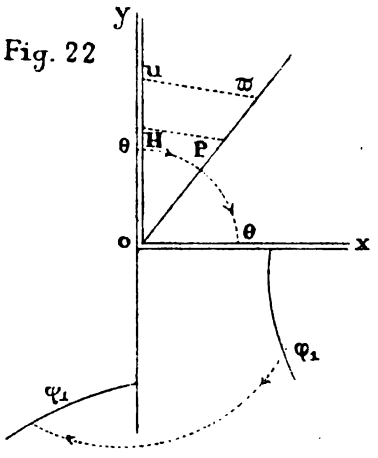
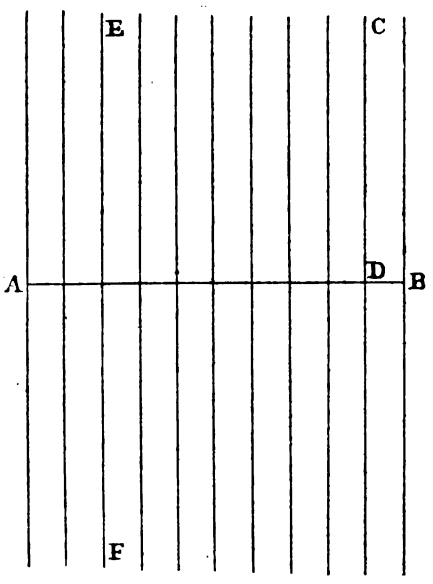


Fig. 23

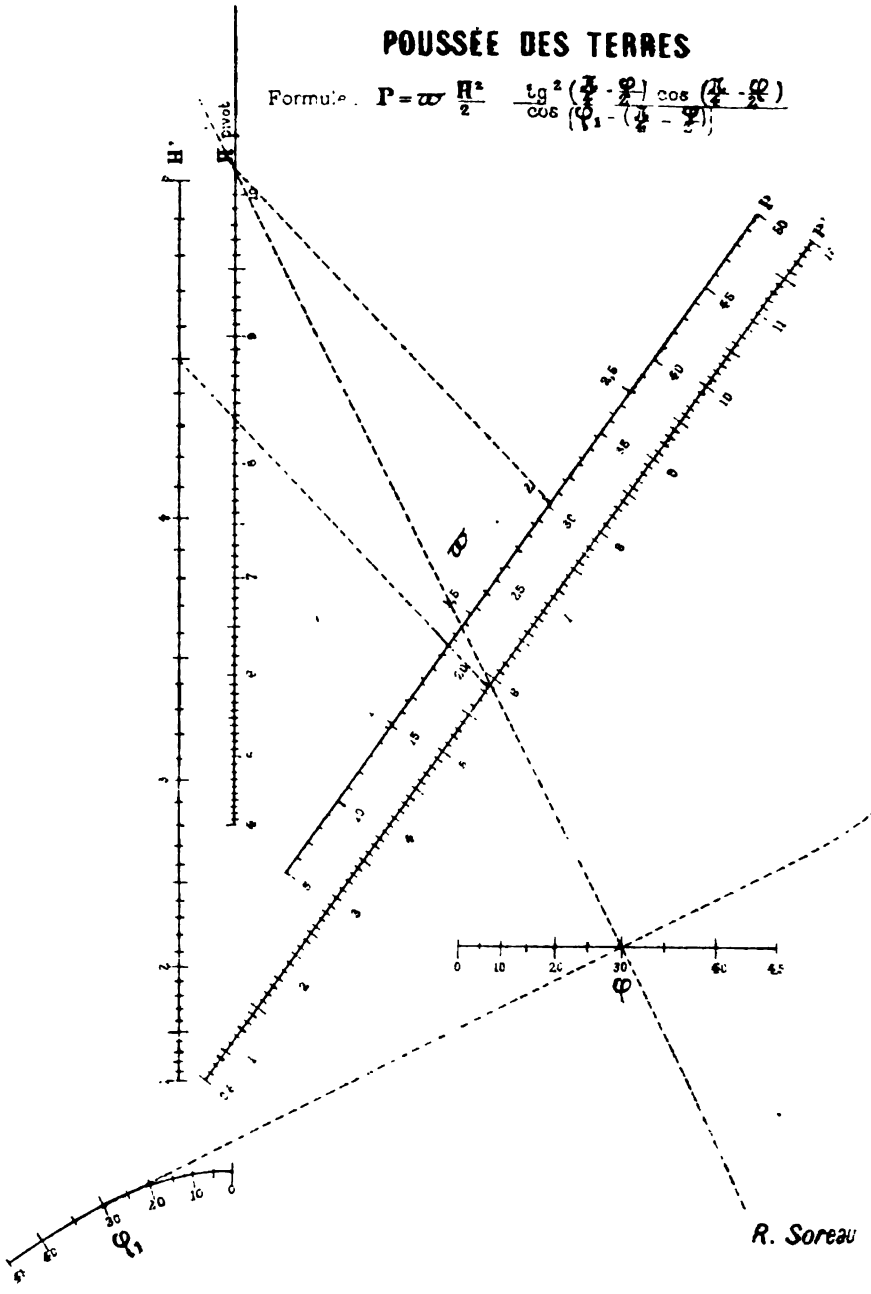


qui seraient à trop petite échelle, j'ai tracé 2 autres échelles H′ et P′ parallèles aux premières, mais amplifiées, ce qui ne détruit pas le parallélisme des droites d'alignement.

Pour la lecture d'un tel abaque, il est commode de se servir d'un transparent sur lequel sont tracées une série de parallèles et une perpendiculaire commune (*fig. 23*); on fait passer AB par φ_1 φ de façon qu'une des perpendiculaires ait son pied D en φ;

POUSSÉE DES TERRES

Formule : $P = \varpi \frac{H^2}{2} \frac{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos\left(\varphi_1 - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right)} \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$



puis on fait tourner le transparent autour du point où CD coupe la ligne de pivot, jusqu'à ce qu'elle passe par le point ϖ : la parallèle EF qui passe par le point H donne la valeur de P.

Exemple : pour $\varphi = 30°$, $\varphi_1 = 35°$, $\varpi = 2^t$, $H = 4^m,5$, on obtient $P = 5^t,87$.

Remarque. — L'alignement $\varphi\varphi_1$, coupe la courbe φ_1 en 2 points φ_1 et φ_2, tels que :

$$\varphi_1 - \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} = -\varphi_2 + \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2},$$

d'où :

$$\varphi + \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{\pi}{2}.$$

Ainsi, dans l'exemple choisi, l'alignement $\varphi = 30°$, $\varphi_1 = 35°$, coupe en un second point $\varphi_2 = 25°$.

Pour la construction de la courbe φ_1, on voit que les radiantes issues du point $\varphi = 45°$ coupent φ_1 en une série de points 0 et 45°, 5° et 40°, 10° et 35°, 15° et 30°, 20° et 25°, 22° 30′ et 22° 30′ : cette dernière radiante est donc tangente à la courbe φ_1.

De même pour les radiantes issues du point $\varphi = 0$, celle qui passe par le point 45° est tangente à φ_1.

Section rectangulaire des murs de soutènement, pour terres profilées suivant leur talus naturel. — Soient φ l'angle naturel des terres, p le rapport des poids spécifiques de la terre et de la maçonnerie, k le rapport de la base à la hauteur de la section rectangulaire (qu'on pourra transformer ensuite en une section trapézoïdale de même résistance). M. Collignon a établi la formule :

$$k^2 + kp \sin\varphi \cos\varphi - \frac{p}{3}\cos^2\varphi = 0$$

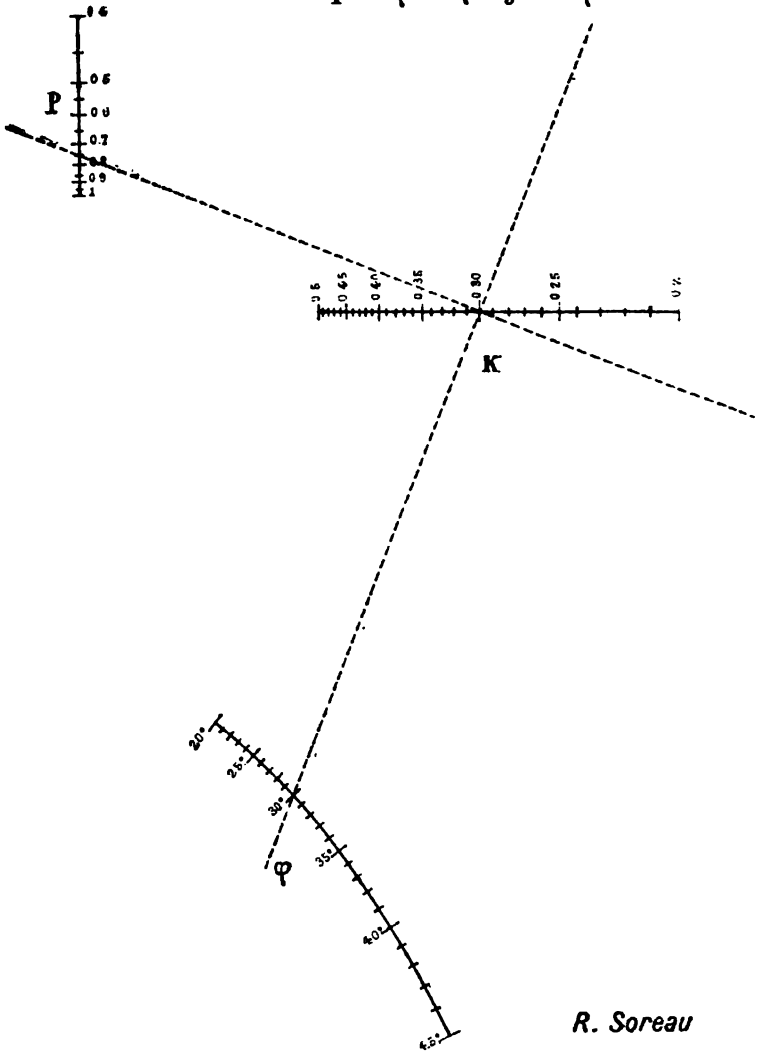
M. d'Ocagne a construit un élégant abaque à entrecroisement formé de $2\frac{1}{2}$ familles de droites (φ) et (k), et d'une famille de cercles (p) ; M. Beghin a donné un abaque à double alignement parallèle, et moi-même j'ai construit un abaque à double alignement en équerre (*Contribution*, abaques 2, 46 et 47) ; mais ces deux abaques à alignement comportent 2 échelles pour la variable φ.

On n'avait pas encore construit d'abaque à alignement avec 1 seule échelle (φ), ainsi qu'il est désirable : c'est ce que permet la méthode du double alignement en équerre.

MURS DE SOUTÈNEMENT

pour terres profilées suivant leur talus naturel

Formule : $K^a + K_p \sin \varphi \cos \varphi - \frac{P}{s} \cos^2 \varphi = o$



R. Soreau

La formule peut s'écrire :

$$\frac{\frac{1}{k}}{\frac{1}{p}} = \frac{1 + tg^2\,\varphi}{\frac{1}{3\,k} - tg\,\varphi}$$

d'où :

$$\begin{vmatrix} (x) & (y) & (z) & (t) \\ \frac{1}{k} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{p} & 0 & 1 \\ 1 + tg^2\,\varphi & tg\,\varphi & 1 & 1 \\ 0 & \frac{1}{3\,k} & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Supposons construit l'abaque à double alignement parallèle avec les coordonnées rectangulaires indiquées sur le déterminant.

Amplifions le système (φ, k) dans le rapport de 1 à 3, et faisons-le tourner de 90°, de façon à superposer les 2 échelles (k); nous obtenons un abaque tel que celui qui est donné ci-contre. Cet abaque a été construit avec :

$$u_k = \frac{1,\,6}{k}$$

$$u_p = \frac{1,\,6}{p}$$

$$u_\varphi = \begin{cases} x = 4,\,8\,tg\,\varphi \\ y = 4,\,8\,(1 + tg^2\,\varphi) \end{cases}$$

Rayon moyen d'un canal à section trapézoïdale. — Soient, comme précédemment, b la largeur du plafond et d la hauteur d'eau. Si les talus ont une pente $p = \frac{1}{m}$, le rayon moyen est donné par la formule :

$$R = \frac{(b + md)\,d}{b + 2\sqrt{1 + m^2}\,d}.$$

Quand on veut, comme cela est toujours désirable, n'avoir qu'un système figuratif pour chaque variable, on ne peut représenter cette formule à 4 variables par un abaque à simple aligne-

ment et point double, suivant la méthode de M. d'Ocagne; ni par un abaque circulaire, suivant la méthode de M. Clark; ni par un abaque à double alignement parallèle, suivant mes procédés. Par contre, la méthode de l'équerre dont le sommet se déplace sur une des échelles donne la solution suivante.

Écrivons la formule :

$$\frac{\frac{1}{d}}{\frac{1}{R}} = \frac{\frac{1}{d} + \frac{m}{b}}{\frac{1}{d} + 2\sqrt{1+m^2}\,\frac{1}{b}},$$

d'où la disjonction :

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{d} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{R} & 0 & 1 \\ \frac{1}{d} & \frac{1}{d} & 1 & 1 \\ -\frac{m}{b} & -\frac{2\sqrt{1+m^2}}{b} & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

On pourrait obtenir la forme voulue en remplaçant la 1re colonne par la différence entre les 1re et 2e colonnes.

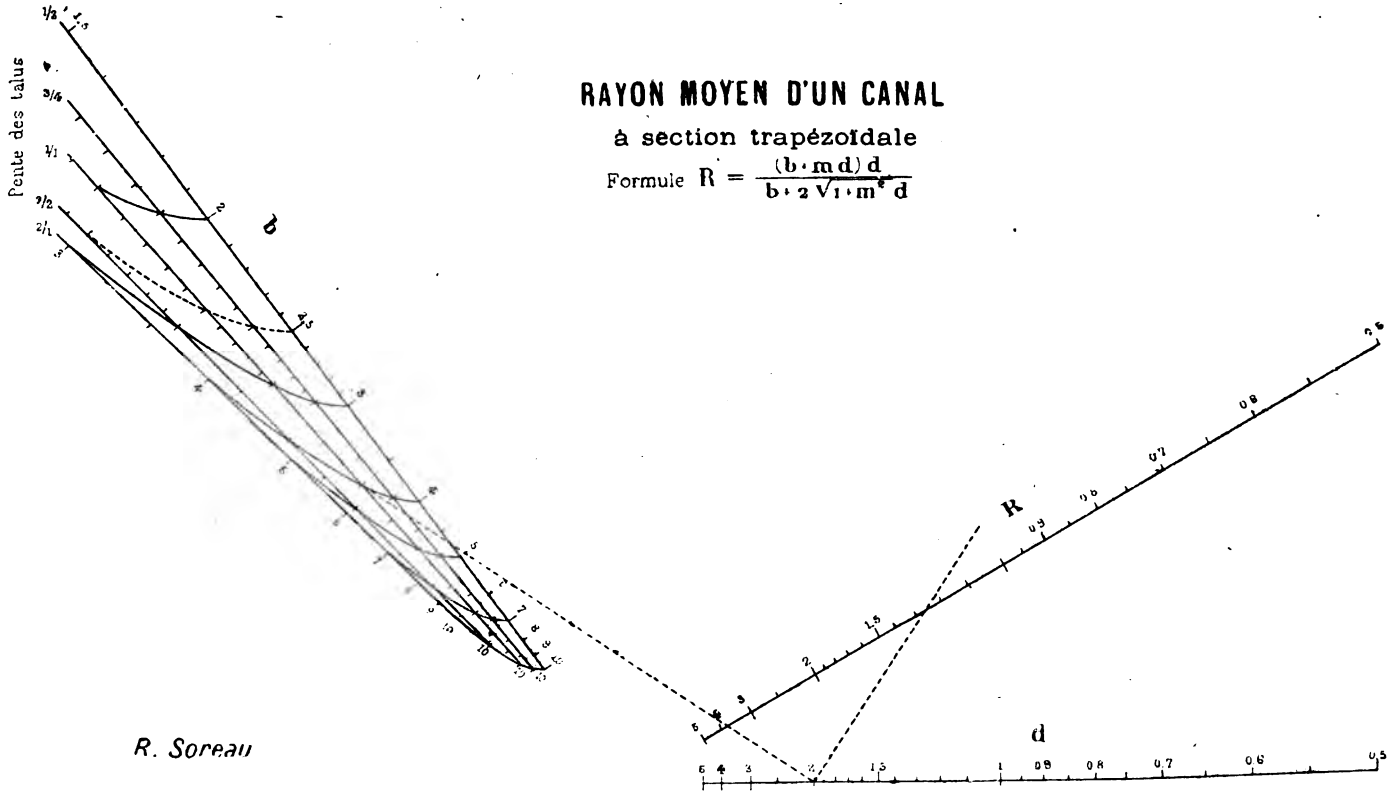
J'ai préféré transformer le déterminant de façon que les 2 échelles d soient rectangulaires, *quel que soit l'angle des axes de coordonnées*. Pour cela, je multiplie la 2e colonne par — 2, puis je la remplace par la somme des 1re et 2e colonnes. J'obtiens ainsi :

$$\begin{array}{cccc} (x) & (y) & & (t) \\ \begin{vmatrix} \frac{1}{d} & \frac{1}{d} & 0 & 1 \\ 0 & \frac{2}{R} & 0 & 1 \\ \frac{1}{d} & -\frac{1}{d} & 1 & 1 \\ -\frac{m}{b} & \frac{4\sqrt{1+m^2}-m}{b} & 1 & 1 \end{vmatrix} & = 0. \end{array}$$

RAYON MOYEN D'UN CANAL

à section trapézoïdale

Formule $R = \frac{(b + m\,d)\,d}{b + 2\sqrt{1 + m^2}\,d}$



R. Soreau

Les 2 échelles d sont bien rectangulaires, puisque ce sont les bissectrices des axes de coordonnées.

J'ai construit l'abaque ci-contre avec les coordonnées indiquées symboliquement sur le déterminant, l'angle xOy étant de 60°. Pour superposer les 2 échelles d par une rotation de 90°, il faut donc réduire le système (d, R) dans le rapport $\frac{\cos 60^\circ}{\cos 30^\circ} = \frac{1{,}000}{1{,}732}$.

Le point à 2 cotes (m, d) est donné par les radiantes :

$$y = \left(1 - 4\sqrt{1 + \frac{1}{p^2}}\right) x,$$

et par les coniques

$$y = x + 4\sqrt{x^2 + \frac{1}{b^2}}.$$

Certaines parties de ces coniques étant très rapprochées à l'échelle réduite du dessin, j'ai gradué les diverses droites p, et n'ai tracé que quelques coniques b pour faciliter la lecture des graduations : cet artifice permet de n'écrire les cotes b que sur les 2 échelles extrêmes.

Pour $b = 4$, $d = 2$, $p = 1$, l'abaque donne bien R = 1,25.

Ce dernier exemple montre nettement l'intérêt du type d'abaque que je viens d'étudier.

D. — De l'ordre nomographique ; capacité et valence

Je terminerai ce Mémoire par quelques considérations sur l'ordre nomographique, et par l'introduction de notions nouvelles sur l'architecture des nomogrammes, notions auxquelles j'ai donné les noms de capacité et de valence, par analogie avec les concepts des chimistes sur l'architecture atomique.

Une équation $F_{123} = 0$ (ou $F_{1234} = 0$) étant donnée, supposons qu'elle soit représentable par un abaque plan à simple (ou à double) alignement, formé de 3 (ou 4) courbes cotées.

Considérons d'abord les cas envisagés dans mon travail *Contribution, etc...*, qui ne comprenaient pas naturellement les nouveaux types d'abaques décrits dans le présent Mémoire.

La disjonction fournit alors un déterminant *identique* à l'équation F, et la variable x_i n'entre que dans la ligne :

$$| \; f_i \qquad \varphi_i \qquad \psi_i \; |$$

s'il s'agit d'une équation à 3 variables, dans une ligne telle que :

$$| \; f_i \qquad \varphi_i \qquad l\varphi_i \qquad \psi_i \; |$$

s'il s'agit d'une équation à 4 variables.

Réciproquement, le développement du déterminant par rapport à cette ligne reproduit identiquement la proposée sous la forme homogène :

$$Af_i + B\varphi_i + C\psi_i = 0.$$

Si l'on détruit cette homogénéité, par exemple en considérant les fonctions $\frac{f_i}{\psi_i}, \frac{\varphi_i}{\psi_i}$, la proposée contient au plus 2 fonctions de x_i linéairement distinctes. L'échelle x_i est une droite s'il y a 1 fonction, une courbe s'il y en a 2.

L'*ordre nomographique* est le nombre total de ces fonctions pour les diverses variables. L'ordre p d'une équation à n variables indique donc *a priori* le nombre de courbes $p - n$ et le nombre de droites $2n - p$ que contient son abaque, s'il existe, *cet abaque étant de l'un des types considérés.*

Ainsi, la formule bien connue :

$$U = \frac{87\sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}},$$

de M. Bazin, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, pour l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts en fonction de leur rayon moyen et de la nature des talus, caractérisée par la valeur de γ, contient une seule fonction pour chacune des variables U, I et γ; mais le *polynôme* en R contient les 2 fonctions R et $\sqrt{R}$: donc, s'il existe un abaque à double alignement, il a 3 échelles rectilignes U, I, γ et 1 échelle curviligne R. Tels sont, en effet, l'abaque d'Ocagne, à double alignement concourant, et l'abaque Soreau, à double alignement parallèle, construits pour cette formule (*Contribution*, abaques 44 et 45).

Réciproquement, étant donné un abaque à alignement des types considérés, on peut déterminer d'après lui le nombre de fonctions linéairement distinctes que contient, pour chaque variable, l'équation qu'il représente.

Toute l'économie et tout l'intérêt de la méthode résident dans la séparation des échelles en deux classes, et deux classes seulement : les droites et les courbes. Avec les abaques à entrecroisement, la relation entre l'ordre et la nature des familles de courbes donne lieu, au contraire, à un grand nombre de combinaisons théoriquement possibles, ce qui ne permet pas de conclure nettement. Dans ce cas, l'ordre n'est plus une caractéristique significative et pratique.

Pour les abaques à alignement, au contraire, l'ordre permet de déterminer *a priori* leurs caractères géométriques d'après les caractères fonctionnels de l'équation. En outre, il donne une classification rationnelle des nomogrammes. « Cette innovation, écrivais-je en 1901, ne nous paraît pas seulement intéressante au point de vue didactique. Une bonne classification n'est jamais sans utilité : celle que nous proposons met en lumière l'esprit des méthodes, et groupe les diverses sortes d'abaques qui ne sont que des traductions différentes d'une même conception analytique. »

Aussi la nouvelle caractéristique fut-elle de suite adoptée. M. d'Ocagne proposa une légère variante ; au lieu de l'*ordre p*, il considère le *genre* $p - n$, qui donne le nombre des échelles

curvilignes; de la sorte, l'équation à 3 et l'équation à 4 variables de genre 0 n'ont pas de courbes, celles de genre 1 en ont une, etc... Ce simple déplacement dans l'origine de la numération n'apporte rien de nouveau, quant au fond.

M. Clark a groupé ses travaux suivant ma classification. C'est ainsi qu'il a démontré que toute équation à 3 variables d'ordre 4 est représentable par un abaque soit du genre d'Ocagne, soit du genre Clark. Je remarque en passant que cet auteur a adopté l'ordre nomographique, et non le genre; ce qui suit justifie cette préférence.

La relation entre l'ordre d'une équation et les caractères géométriques de son abaque à courbes cotées ne subsiste plus, telle que je l'ai donnée en 1901, pour les abaques coniques et les abaques cubiques. Ainsi, l'équation à 3 variables d'ordre 3 donne bien 3 échelles rectilignes avec l'abaque rectiligne; mais elle donne 1 échelle rectiligne et 2 échelles curvilignes avec l'abaque conique, 3 échelles curvilignes avec l'abaque cubique. Inversement, si l'on déduit l'ordre d'une équation de la nature des échelles, on conclura, suivant le cas, à l'ordre 3, à l'ordre 5, ou à l'ordre 6. A la vérité, 2 ou 3 graduations ont alors le *même support*, tandis que les équations d'ordre 5 et 6 donnent des *supports différents*, qui peuvent se superposer dans certains cas particuliers (*Contribution*, abaques 28 et 29), mais qui n'en restent pas moins analytiquement distincts. On pourrait donc conserver la règle, sous réserve qu'elle ne s'applique pas au cas où les graduations ont un même support qui ne résulte pas d'une superposition; pour ce cas, chaque graduation d'une même courbe devrait être comptée comme si elle était rectiligne. Mais cette solution simpliste exclurait deux classes entières d'abaques d'une règle à laquelle il convient de conserver un caractère général.

Pourquoi les abaques coniques ou cubiques font-ils exception à la règle que j'ai primitivement formulée? Parce que les déductions tirées plus haut sur la relation entre le degré de $F = 0$ et les caractères géométriques de son abaque supposent implicitement que la disjonction conduit à un déterminant D identique à F, à un facteur constant près. Or on peut concevoir une disjonction $D = 0$ *équivalente* à $F = 0$, sans que D soit identique à F. C'est précisément ce qui a lieu avec les abaques coniques et les abaques cubiques; ainsi, pour les équations à 3 variables d'ordre 3, on a obtenu plus haut les 3 disjonctions D_1, D_2, D_3 telles que :

$D_1 = K_1F$ pour l'abaque rectiligne.

$$D_2 = K_2F \begin{vmatrix} f_1 & 1 \\ f_2 & 1 \end{vmatrix}$$ pour l'abaque conique,

$$D_3 = K_3F \begin{vmatrix} f_1^2 & f_1 & 1 \\ f_2^2 & f_2 & 1 \\ f_3^2 & f_3 & 1 \end{vmatrix}$$ pour l'abaque cubique.

C'est cette introduction d'un facteur contenant des fonctions qui fausse l'application de la règle.

Ce caractère d'exception ne m'avait point échappé pour l'équation de M. Massau, mais je n'en avais pas discerné la cause. Cette équation :

$$(m_1f_1 + n_1)(m_2f_2 + n_2)f_3 + (p_1f_1 + q_1)(p_2f_2 + q_2)\varphi_3 + (r_1f_1 + s_1) + (r_2f_2 + s_2)\psi_3 = 0$$

est d'ordre 4 par rapport aux fonctions $f_1\ f_2\ \frac{f_3}{\psi_3}\ \frac{\varphi_3}{\psi_3}$. De ce qu'elle n'était pas représentable par un abaque à 2 échelles rectilignes et 1 échelle curviligne, j'avais conclu qu'il convenait de calculer l'ordre avec les fonctions $\frac{m_1f_1 + n_1}{r_1f_1 + s_1}, \frac{p_1f_1 + q_1}{r_1f_1 + s_1}, \frac{m_2f_2 + n_2}{r_2f_2 + s_2}, \frac{p_2f_2 + q_2}{r_2f_2 + s_2}$: d'où l'ordre 6 qui donnait bien 3 échelles curvilignes.

Cette façon de faire ne peut plus être maintenue avec ce que nous savons aujourd'hui : en effet, ce serait admettre que l'équation :

$$mf_1f_2f_3 + a_1f_2f_3 + a_2f_3f_1 + a_3f_1f_2 + b_1f_1 + b_2f_2 + b_3f_3 + n = 0,$$

est d'ordre 3, 5 ou 6 suivant qu'on la représente par un abaque rectiligne, conique ou cubique; d'où, pour l'ordre, une mobilité qui enlèverait toute signification à cette caractéristique.

Est-il possible de donner, pour une équation, une relation générale entre son ordre, tel que je l'ai défini, et les caractères géométriques de *tous* ses abaques à courbes cotées? Tel est le problème que je me suis posé, et que j'ai résolu en imaginant des notions nouvelles, la *capacité* et la *valence*.

Je considère 2 éléments dans une échelle : le support et la graduation.

La capacité *d'un* support *est le nombre de graduations qu'il est* capable *de porter. Tant que la capacité n'est pas dépassée, la* valence *du* système *(support et ses graduations) est égale à la capacité du support. Si la capacité est dépassée, autrement dit s'il y a* sursaturation, *la valence du système s'augmente d'une unité par graduation supplémentaire.*

La capacité est de 1 pour les supports rectilignes, de 2 pour les supports curvilignes. Les systèmes *peuvent donc être* mono, bi, tri, tétravalents.

Moyennant ces définitions, la relation cherchée entre l'ordre nomographique d'une équation et les caractères géométriques de *tous* ses abaques à alignement à courbes cotées est la suivante :

Le nombre total des valences est égal à l'ordre nomographique.

De même que les concepts des chimistes sur les composés, saturés ou non, et le rôle des valences dans les substitutions des atomes [carbures d'hydrogène, fonction (OH) des alcools, etc...] ne se justifient qu'*a posteriori* et restent asservis à la souveraineté du fait, de même il me suffit de montrer que la précédente règle s'applique à tous les types d'abaques à courbes cotées imaginés jusqu'ici.

1° Alignement simple.

Ordre 3. — La théorie générale exposée plus haut fournit 3 sortes d'abaques :

1° Avec 3 supports rectilignes à 1 graduation, d'où 3 systèmes monovalents;

2° Avec 1 support rectiligne à 1 graduation, et 1 support conique à 2 graduations, d'où 1 système monovalent et 1 système bivalent;

3° Avec 1 support cubique sursaturé de 1 graduation, d'où 1 système trivalent.

Ordre 4. — M. Clark a démontré que l'équation est représentable par l'un ou l'autre des abaques suivants :

1° Avec 2 supports rectilignes à 2 graduations, et 1 support curviligne à 1 graduation, d'où 2 systèmes monovalents et 1 système bivalent;

2° Avec 1 support conique à 2 graduations, et 1 support curvi-

ligne à 1 graduation, d'où 2 systèmes bivalents. (C'est le cas de l'équation de M. Massau.)

Ordre 5. — Pour les équations de cet ordre, les seuls abaques construits sont, à ma connaissance, celui de l'isochronisme du régulateur Farcot et celui de l'écoulement de l'eau par un orifice rectangulaire en paroi verticale (*Contribution*, abaques 28 et 29); ils comportent 1 échelle rectiligne et 2 échelles curvilignes superposées. De même qu'en Géométrie il convient de considérer comme double un point de tangence, comme triple un point de simple osculation, etc..., de même il faut considérer ici les 2 échelles curvilignes superposées comme provenant de 2 graduations sur 2 *supports distincts*. Le total des valences est bien 5.

C'est, analytiquement, la différence entre ces abaques et les abaques coniques, où il y a 2 graduations sur un *même support*, les 2 *graduations* n'étant d'ailleurs confondues qu'accidentellement, tandis que, dans les abaques d'ordre 5 où 2 échelles sont confondues, il y a nécessairement superposition des *systèmes*, c'est-à-dire des supports et des graduations.

2° Double alignement concourant ou parallèle.

Ordre 4. — La théorie générale fournit 4 sortes d'abaques :

1° Avec 4 supports rectilignes à 1 graduation, d'où 4 systèmes monovalents;

2° Avec 2 supports coniques à 2 graduations, d'où 2 systèmes bivalents;

3° Avec 1 support conique ou cubique sursaturé de 2 graduations, d'où 1 système tétravalent.

Ordres supérieurs à 4. — Le seul type d'équation étudié jusqu'ici est :

$$\frac{f_1 + f_2}{\varphi_1 + \varphi_2} = \frac{f_3 + f_4}{\varphi_3 + \varphi_4}.$$

Dans le cas général, l'équation est d'ordre 8, et l'abaque a 4 supports curvilignes à 1 graduation, d'où 4 systèmes bivalents. Dans les cas particuliers où l'ordre s'abaisse, le nombre total des valences s'abaisse d'autant.

3° Double alignement en équerre dont le sommet est sur une échelle.

J'ai montré que ce double alignement est un cas particulier du double alignement parallèle. Si donc on dédouble par la pensée les 2 échelles qu'on a superposées, la règle s'applique.

Il n'y a qu'une exception pour un cas très particulier (et non plus pour toute une classe) : c'est celui où, dans l'équation générale :

$$\frac{f_1 + f_2}{\varphi_1 + \varphi_2} = \frac{\varphi_1 + f_3}{-f_1 + \varphi_3},$$

on a :

$$\varphi_1^2 = f_1.$$

Les 4 fonctions f_1^2, f_1, φ_1^2, φ_1 se réduisent alors à 3, savoir $f_1^2, f_1, \sqrt{f_1}$, et l'ordre est inférieur de 1 au total des valences. Cette exception, qui subsisterait pour toute autre règle qu'on pourrait imaginer, est un cas très particulier du cas assez rare où l'équerre se déplace sur une échelle curviligne; elle n'est relatée ici que pour mémoire.

4° Alignement multiple.

Les formes canoniques :

$$f_1 + f_2 + \ldots + f_n = 0,$$
$$f_1 f_2 \ldots f_n = 1,$$

sont d'ordre n.

Elles sont représentables par des abaques à double alignement concourant, ou à chevrons pliés, ayant n supports rectilignes à 1 graduation; d'où n systèmes monovalents.

Elles sont aussi représentables :

Si $n = 2q$, par un abaque à q supports circulaires à 2 graduations, d'où q systèmes bivalents; le total des valences est n;

Si $n = 2q + 1$, par un abaque à q supports circulaires à 2 graduations, et 1 support rectiligne à 1 graduation, d'où q systèmes bivalents et 1 système monovalent; le total des valences est n.

La règle se trouve donc pleinement justifiée.

De même que les valences permettent, en Chimie, de concevoir si certains groupements sont possibles ou non, de même elles permettent, en Nomographie, de conclure qu'une équation peut ou ne peut pas être représentée par un type donné d'abaque à courbes cotées.

Ainsi, dans le cas de 3 variables, 1 support curviligne à 2 graduations forme un système bivalent, et la valence du système figuratif de la 3e variable est au plus égale à 2; il en résulte que l'abaque conique n'est pas applicable aux équations d'ordre 5 et d'ordre 6.

Ainsi encore, dans le cas de 4 variables, un support curviligne à 4 graduations forme un système tétravalent; il en résulte que l'abaque cubique n'est applicable qu'à l'équation d'ordre 4.

Du reste, comme en Chimie, de ce qu'un type d'abaque est possible d'après les valences, il ne s'ensuit pas qu'il existe.

Ces nouvelles notions présentent, croyons-nous, un réel intérêt, tant au point de vue d'une classification rationnelle qu'au point de vue de la détermination *a priori* des caractères géométriques des abaques à courbes cotées susceptibles de représenter une équation donnée.

CHRONIQUE

N° 317

Sommaire. — La catastrophe de San Francisco. — La locomotive Shay. — L'Association des Ingénieurs allemands. — Les précurseurs de l'automobile. — Le fer dans l'antiquité. — Nouveau combustible préparé avec le lignite.

La catastrophe de San Francisco. — Les journaux américains sont pleins de détails sur le tremblement de terre qui a ravagé une partie de la Californie et auquel s'est ajouté, à San Francisco, un formidable incendie. Il nous a paru utile de donner à ce sujet le résumé d'un article paru dans l'*Engineering News*, et qui donne une idée très exacte de cette catastrophe et de ses effets.

Un tremblement de terre très violent a, le 18 avril 1906, dévasté la partie centrale de la côte de Californie ; les secousses se sont fait sentir sur une région de plusieurs centaines de kilomètres de longueur et de 50 à 80 kilomètres de largeur, depuis l'océan Pacifique jusqu'au point de partage des bassins des rivières Sacramento et San Joaquin. Fort Bragg, à 200 km au nord, et Monterey et Salinas, à 160 km au sud de San Francisco, paraissent être les points les plus extrêmes où se sont produites les fortes secousses, autant du moins qu'on peut le savoir actuellement. En dehors de cette zone, il y a peu de dommage.

La première secousse s'est manifestée à 5 h. 13 m. du matin. L'observatoire de Berkeley a constaté que les secousses commençaient par une série de vibrations durant un peu moins d'une minute et suivies, après un intervalle de dix secondes, d'une autre série d'une demi-minute ; ces vibrations paraissaient dirigées dans la direction du S.-S.-E à N.-N.-O. et avoir une périodicité d'une seconde environ. Des secousses moins violentes se sont produites pendant toute la matinée ; elles n'auraient pas fait grand mal par elles-mêmes, mais elles ont achevé l'œuvre des premières, en renversant des murs déjà disjoints ou ébranlés. A San Francisco, par exemple, des édifices que les premières vibrations n'avaient pas rendus inhabitables, ont été mis dans une condition dangereuse pour les occupants par les secousses ultérieures.

Le point le plus au nord où se soient fait sentir les effets du tremblement de terre est Eureka (7 000 habitants), près de Humboldt-Bay, situé sur la côte à 345 km de San Francisco ; le mal s'est borné à quelques murs en briques ébranlés et de conduites d'eau brisées. A Point-Arena (700 hab.) et Fort Bragg (2 000 hab.), à 160 km au sud de San Francisco, les phares ont été fortement endommagés et, dans la seconde localité, toutes les constructions importantes renversées. Un vapeur naviguant au large de Humboldt-Bay, a senti distinctement les secousses. Les villes de Ukiah (2 000 hab.), Healdsburg (2 000 hab), Sebastopol (600 hab.) et Santa-Rosa (7 000 hab.), situées de 80 à 160 km de San Francisco, dans la vallée de Sonoma, ont été très éprouvées ; il y a eu probablement 100 morts à Santa-Rosa, et, à l'exception de la

station du California Northwestern railway, toutes les constructions en pierres ou en briques ont été détruites.

Oakland (67 000 hab.) et Berkeley (13 000 hab.), à 12 km de San Francisco, de l'autre côté de la baie, ont beaucoup moins souffert, peu de constructions ont été détruites, mais beaucoup ont été endommagées et plusieurs devront être abattues.

L'Université de Californie, à Berkeley, a éprouvé peu de dommages. Plus à l'est, le Southern Pacific railway, a subi des dégâts importants et les communications télégraphiques ont été interrompues dans toute la région. Une portion de voie entre Oakland et Sacramento s'est abaissée de plusieurs pieds, un pont de chemin de fer sur le San Joaquin a éprouvé un affaissement, mais il n'y a pas eu de grands dommages.

La contrée autour de la moitié inférieure de la baie de San Francisco, comprenant les villes de San Francisco, Palo Alto, San José et beaucoup de petites localités, a été très éprouvée. San José (21 000 hab.) et Palo Alto (2 000 hab.), avec l'Université de Leland Stanford ont subi toute la violence du tremblement de terre. Les importantes constructions de l'Université, dont quelques-unes en béton armé et dont la plupart étaient des bâtiments peu élevés, ont été renversées en partie ; plus de la moitié devra être reconstruite. A San José beaucoup de bâtiments sont tombés, et leur chute a tué environ cinquante personnes. Un asile d'aliénés situé dans le voisinage de la ville s'est écroulé en tuant un certain nombre de ses pensionnaires. Toutes les villes dans la région entre San José et Salinas ont subi de grands dommages, ainsi que Salinas (3 500 hab.) et Monterey (1 700 hab.). On ne sait rien de la contrée au sud de Salinas, si ce n'est qu'à Los Angeles, à 560 km de San Francisco, on n'a éprouvé aucune secousse. Mais, d'un autre côté, la petite localité de Bramley, à 800 km au sud-est de San Francisco, située dans la fameuse dépression de Salton Sink, a eu beaucoup de mal. Le trafic sur la ligne du littoral du Southern Pacific, dans la direction de Los Angeles, s'est trouvé interrompu par suite de l'affaissement d'un tunnel près de Santa Cruz.

Les dommages causés à San Francisco par le tremblement de terre n'ont pas attiré beaucoup l'attention, en présence de ceux qu'a amenés l'incendie. Beaucoup de constructions en maçonnerie de briques et d'autres en pans de bois se sont renversées en enterrant les habitants sous leurs débris. Des édifices solidement bâtis tels que des hôtels, le Post Office, etc., ont été très endommagés, sans toutefois que, dans la plupart des cas, leur existence fût compromise ; toutefois le dernier est fissuré d'une manière dangereuse. La Monnaie des États-Unis n'a pas beaucoup souffert du tremblement de terre et a été sauvée de l'incendie grâce à une alimentation d'eau indépendante. C'est la partie nord-est de la ville qui paraît avoir le plus souffert ; c'est un quartier bas où le terrain est peu consistant ; on n'a pas encore de détails sur le sort des usines et magasins situés dans cette partie : toutefois, on sait que les Union Iron Works, les Risdon Iron Works et l'United Engineering Company pourront reprendre prochainement le travail. Trois navires de guerre en construction dans le premier de ces établissements n'ont pas eu de mal, mais un navire sur cale a été renversé sur le côté et un

vapeur amarré dans le bassin a coulé par suite du choc d'une grue renversée..

Un fait des plus intéressants qui confirme entièrement les prévisions des Ingénieurs est la résistance qu'ont montrée en général les constructions en charpentes d'acier en présence des secousses du tremblement de terre. Il y avait dans la partie la plus éprouvée de San Francisco au moins une demi-douzaine d'édifices de ce modèle avec de dix à dix-sept étages. Autant qu'on peut en juger par des renseignements assez vagues et émanant de sources non techniques, tous ces bâtiments n'ont éprouvé aucun dommage dans leur charpente. Quelques-uns ont subi des dégâts de la part de corniches ou de parties de murailles détachées, mais aucun n'a souffert dans sa carcasse et dans la plus grande partie des revêtements en maçonnerie. Un système spécial de construction était représenté par le grand dôme de 30 m des Parrott Buildings et le dôme de 18 m du Hall of Records ; ni l'un ni l'autre de ces édifices n'a éprouvé de dommages de la part du tremblement de terre. Une grande tour en acier d'un bâtiment appartenant à l'État dans Market Street a été mise hors d'aplomb et, d'après l'examen qui en a été fait, elle devra être reconstruite. Il est difficile pour le moment de dire rien de plus précis que ces observations générales.

En dehors des constructions renversées, les dommages les plus importants causés par le tremblement de terre du 18 avril, ont été la destruction des canalisations d'eau et de gaz. Le réseau de la distribution d'eau, constitué pour 97 0/0 de tuyaux en fonte et pour 3 0/0 seulement de tuyaux en fer, a éprouvé de nombreuses ruptures, de sorte que la ville est restée absolument sans eau pendant l'incendie. Ce n'est que le 20 juin, soixante heures après le tremblement de terre qu'on a pu avoir de l'eau du lac Merced et deux jours après on a pu en obtenir d'autres réservoirs.

On ne sait pas encore au juste quel est l'état des égouts ; il semble que ceux des quartiers ravagés par le feu sont à peu près entièrement détruits ; dans les autres quartiers de la ville ils ne seraient pas très endommagés et on est occupé à en faire l'inspection et à procéder aux réparations les plus urgentes.

La contrée affectée par le tremblement de terre a subi d'autres dommages que ceux causés aux villes. Dans les premiers moments l'attention s'est concentrée uniquement sur le désastre de San Francisco et on s'est peu occupé des dégâts survenus aux voies de communication. Ceux-ci sont cependant assez importants comme on va le voir.

(A suivre).

La locomotive Shay. — On fait usage, aux États-Unis, pour des applications spéciales, de systèmes de locomotives qui nous paraissent de construction bien hardie et qui donnent de bons résultats d'après les journaux américains. Dans ces locomotives, la transmission aux essieux de l'effort des pistons se fait par l'intermédiaire d'engrenages coniques. Le système le plus employé est celui de Shay, qui consiste à faire commander par les pistons un arbre longitudinal formé de tronçons réunis par des manchons à glissement et des joints universels. Cet arbre court

tout le long de la machine sur un côté et commande les essieux des divers trucks sur lesquels repose la machine, au moyen d'engrenages d'angle. C'est en somme le principe de la transmission du train Renard.

Le rapport du nombre de dents est de 1 à 2 et, comme la machine comporte trois cylindres, il y a six coups d'échappement par tour de l'arbre moteur et douze par tour de roues. Il en résulte une grande régularité pour le tirage qui ressemble à celui qui est produit par un ventilateur, plus qu'au tirage ordinaire des foyers de locomotives. Les cylindres sont disposés verticalement contre la paroi du foyer ; on peut donner aux orifices de larges dimensions et, le dôme de prise de vapeur étant tout près des cylindres, il n'y a qu'un bout de tuyau très court et bien enveloppé pour amener la vapeur de la chaudière à la machine : les refroidissements sont ainsi réduits au minimum.

Toutes les roues étant commandées, le poids total de la machine et de ses approvisionnements est utilisé pour l'adhérence. Les trucks, généralement au nombre de trois, avec deux essieux chacun, étant mobiles autour de leur centre dans le plan horizontal, la machine peut passer dans des courbes de très faible rayon, 30 m pour les plus grandes machines, et 10 pour les petites.

Le centre de gravité de la machine est placé bas et celle-ci est très stable ; on peut la faire circuler avec la plus parfaite régularité à des vitesses de 30 km ; et, comme les essieux ne sont reliés directement à aucune pièce à mouvement alternatif, il n'y a pas de réactions sur les rails qui peuvent dès lors n'avoir qu'un poids modéré. Enfin, le grand nombre de coups de pistons par tour de roue, soit douze, donne au mouvement de rotation une très grande régularité qui permet un coefficient d'adhérence considérable allant au quart du poids sur les rails ; dans les locomotives ordinaires, il n'y a que quatre impulsions du piston par tour de roues.

Il y a en service un assez grand nombre de locomotives Shay (1) ; leur poids varie de 65 à 130 t ; il en est qui fonctionnent depuis vingt-cinq ans. On en rencontre sur le Canadian Pacific, où il y a des rampes de 40 0/00, sur le chemin de fer de Guayaquil à Quito, dans l'Equateur, où les déclivités atteignent 7 0 0, mais leur emploi est surtout dans les mines où la nature assez primitive des voies exige une souplesse particulière.

La plus puissante locomotive de ce système qui ait été faite a été construite en 1902, pour la ligne El Paso Rock Island par les ateliers de construction de Lima (Ohio), qui se sont fait une spécialité de ce genre de locomotives.

Cette machine pèse 131 800 kg et était à cette époque la plus lourde locomotive connue ; elle a perdu ce rang depuis la construction de la machine Mallet du Baltimore-Ohio, qui pèse 151 500 kg, et qui elle-même va être laissée en arrière par les machines du même système en construction pour le Great Northern et dont le poids sera de 160 000 kg. Il faut ajouter que le poids de ces machines qui ont un tender séparé

(1) Il y avait, à l'Exposition de Saint-Louis, une locomotive Shay pesant 59 000 kg en ordre de marche.

est constant, tandis que celui de la machine Shay, qui porte ses approvisionnements, varie dans une large mesure.

La locomotive Shay, dont nous parlons, est portée sur quatre trucks à deux essieux, soit huit essieux en tout ; deux de ces trucks sont sous le tender, un à l'arrière du foyer, et le dernier sous la boîte à fumée, la charge moyenne par essieu ressort donc à 16,5 t, ce qui permet l'emploi d'un rail de poids ordinaire ; la machine peut passer dans des courbes de 30 m sans fatigue pour la voie et pour elle-même, car l'écartement des essieux parallèles, c'est-à-dire la base rigide, ne dépasse pas 1,50 m.

Le châssis de la locomotive est constitué par deux longerons de 0,45 m de hauteur rendus rigides par un fer à U rivé sur la face extérieure, ces longerons sont fortement entretoisés ; la chaudière repose sur eux par des supports en fonte et est fixée du côté du foyer, la dilatation se faisant à la boîte à fumée.

Un frein à vapeur agit sur toutes les roues, il y a, en outre, un frein Westinghouse pour le train, et, enfin, la contre-vapeur avec injection d'eau agit sur les cylindres pour prévenir à la descente des rampes une usure excessive des bandages.

La locomotive dont nous nous occupons est en service sur la partie établie, avec rails de 30 kg, d'Alamorgo, dans le Nouveau-Mexique, à Cox-Canon, partie qui rachète une différence de niveau de 1 800 m sur une longueur de 50 km.

Les déclivités varient de 3 à un peu plus de 6,5 0/0 ; il y a une section de 13 km environ, où les inclinaisons sont de 4,5 à 5,2 0/0 avec 800 m de déclivité de 6 0/0 et courbes de faible rayon. La machine remonte, sur la partie en rampe de 6,5 0/0, un train de vingt-sept wagons vides pesant 7 250 kg chacun, plus un fourgon de 5 500 kg, total 201 tonnes métriques, soit, avec la machine, 333 t. Ce travail correspond à la remonte d'un train de 633 t, soit 521 t remorquées sur rampe de 3 0/0.

La nécessité de faire un travail de ce genre sur une longueur continue de 40 km exige une chaudière puissante et un approvisionnement d'eau considérable. On s'en rendra compte par les dimensions suivantes, que nous croyons intéressant de donner ici, de ce curieux système de machines.

Écartement des rails	m	1,435
Surface de grille	m²	3,35
Surface de chauffe directe	—	14,51
Surface de chauffe tubulaire	—	171,00
Surface de chauffe totale	—	185,51
Diamètre du corps cylindrique	m	1,525
Pression à la chaudière	kg	13,5
Diamètre des trois cylindres	m	0,381
Course des pistons	—	0,432
Diamètre des roues	—	1,020
Nombre de dents { roues		41
Nombre de dents { pignons		20

Écartement des essieux parallèles . . .	m	1.473
Écartement total.	—	17.32
Longueur totale de la machine et du tender	—	22.01
Contenance des caisses à eau	l	22 800
Contenance des soutes à combustible. .	kg	8 100
Poids du tender vide.	—	20 000
Poids total du moteur en service . . .	—	131 800
Poids adhérent	—	131 800
Effort de traction $0.65p\frac{d^2l}{D}\times 3$ (1) . . .	--	25 000

On emploie comme combustible du charbon gras.

La chaudière contient 270 tubes de 51 mm de diamètre extérieur et de 3,965 m de longueur.

Les engrenages sont en acier fondu.

On ne peut contester qu'à côté des avantages que les machines Shay peuvent présenter pour le service sur des voies posées et entretenues le plus souvent avec peu de soin, celles-ci doivent donner lieu à des pertes de travail et des résistances énormes par leurs transmissions composées d'engrenages d'angles, de manchons et de joints universels. A ce sujet, nous sommes heureux de faire connaître le fait suivant qui jettera quelque lumière sur la question. Le chemin de fer de Guyaquil a Quito, dans l'Equateur, dont il a été dit un mot plus haut, possède un certain nombre de locomotives du système Shay, qu'on a cru devoir employer à cause de la nature du tracé qui présente de nombreuses courbes de 100 m de rayon, descendant même à 60, et des déclivités très fortes (2). Or, la direction a fait construire dernièrement, par la fabrique Baldwin, deux locomotives compound articulées à 6 essieux de 57 t en service (tender séparé), du modèle employé au chemin de fer de Porto-Rico, modèle que nous avons mentionné dans la chronique de novembre 1904, page 651. On pourra ainsi avoir des résultats comparatifs qui permettront de juger si les avantages de la machine Shay ne peuvent pas être obtenus plus simplement et plus économiquement.

L'Association des Ingénieurs allemands. — Nous avons déjà eu plusieurs fois l'occasion d'appeler l'attention de nos collègues sur le développement considérable qu'a pris, depuis plusieurs années, l'Association des Ingénieurs allemands. Nous profitons de ce que cette société célèbre ces jours-ci, du 10 au 14 juin, avec une grande solennité, le cinquantième anniversaire de sa fondation pour donner de nouveaux détails sur l'extension considérable qu'elle a acquise depuis notre dernier article (1897), extension qui l'a mise en tête, comme importance, de toutes les Sociétés d'Ingénieurs du monde.

(1) On introduit le coefficient 3 dans la formule de l'effort de traction pour tenir compte du rapport d'engrenage 2 et du nombre des cylindres $\frac{3}{2}=1.5$, soit $1,5\times 2=3$.

(2) Il a été question plus haut de déclivité de 7 0/0 pour cette ligne. Un article assez récent de l'*Engineering News* sur ce chemin de fer indique un maximum de 5,5, il est possible qu'il y ait eu des travaux supplémentaires pour adoucir les déclivités.

L'association dont nous nous occupons a été fondée le 12 mai 1856, à Alexisbad, dans le Harz; elle comptait au début vingt-trois membres et elle eut comme directeur (c'était le titre) Franz Grashof, mort en 1893, et qui resta à sa tête de 1856 à 1890.

Elle devait, d'après ses statuts, satisfaire aux trois conditions principales suivantes :

1° Etre une Société allemande et embrasser toute l'Allemagne;

2° Etre une fédération de sociétés ou groupes locaux;

3° Publier un important organe technique.

On voit que ces conditions ont été remplies.

L'Association compte aujourd'hui vingt mille membres, dont quinze mille en Allemagne et le reste dans toutes les parties du monde. Elle se compose de quarante-six groupes répartis sur tous les points de l'Allemagne. Elle publie un *Bulletin* dont l'importance est très considérable et dont nous reparlerons plus loin.

Grashof étant allé s'installer, en 1863, à Carlsruhe, pour succéder à Radtenbacher comme professeur de construction de machines à l'Ecole Polytechnique du Grand-Duché de Bade, conserva néanmoins sa position de directeur de l'Association, mais la rédaction du *Bulletin* fut alors confiée à une Commission. En 1881, on adjoignit au directeur un secrétaire général résidant à Berlin. Il y avait néanmoins un président élu tous les ans, et dont le premier fut Friedrich Karl Euler, mort en 1891. Les statuts furent modifiés en 1899, et quelques modifications introduites dans l'organisation et le fonctionnement. L'Association avait, d'ailleurs, acquis la personnalité juridique en 1891.

Les chiffres suivants donnent une idée du développement de l'Association au point de vue de l'effectif :

Fin 1856	172	membres	Fin 1886	5 630	membres
— 1866	1 245	—	— 1895	10 998	—
— 1876	3 242	—	— 1905	19 581	—

Actuellement, plus de 20 000.

Le *Bulletin*, dont le nom officiel est *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, désigné en abrégé par les lettres Z. V. D. I., est la manifestation extérieure la plus importante de l'activité de l'Association. Il a paru mensuellement de l'origine à 1883, avec addition, de 1877 à 1883, d'un fascicule hebdomadaire ou *Wochenschrift*, donnant les résumés des séances des groupes et divers autres articles.

Depuis 1883, il paraît toutes les semaines et contient un certain nombre de mémoires originaux, le compte rendu des communications faites aux groupes, une bibliographie, des extraits des brevets et une revue des faits intéressants, sans parler des questions administratives intéressant la Société et qui sont à part. Les deux volumes publiés en 1904 forment 2 124 pages, soit une moyenne de 40 par numéro hebdomadaire, 19 planches et 4 500 figures dans le texte, ou une moyenne de 86 par numéro. Nous verrons plus loin ce que coûte cette publication et aussi ce qu'elle rapporte. Le *Bulletin* était tiré en 1859 à 700 exemplaires, en 1875 à 3 600, en 1896 à 13 000 et en 1906 à 24 300.

L'Association des Ingénieurs allemands a joué un rôle dans toutes les

questions industrielles qui se sont agitées en Allemagne ; elle a participé à la réglementation des appareils à vapeur et à la création des associations de surveillance, à la préparation de la loi sur les patentes d'invention, à la création des laboratoires de mécanique, à la réforme scolaire, à l'établissement des normes techniques ; elle subventionne quantités de travaux et recherches scientifiques. Nous savons qu'elle s'occupe actuellement de la publication du *Technolexicon* ou *Dictionnaire Technologique* en plusieurs langues fait avec la collaboration d'un très grand nombre d'Ingénieurs, dont plusieurs appartiennent à notre Société.

Nous terminerons par quelques chiffres qui montreront mieux que bien des lignes le développement considérable qu'a pris l'Association dont nous nous occupons et la prospérité dont elle jouit.

En 1905, le total des recettes s'est élevé à 1 133 000 f en nombre rond, et les dépenses à 1 096 000, ce qui laisse un excédent de 41 000 f.

Dans les recettes, les droits d'admission et cotisations figurent pour 522 000 f, et la publicité (annonces et encartages dans le *Bulletin*) l'énorme chiffre de 677 000 f.

Dans les dépenses, nous voyons la publication du *Bulletin* entrer pour 655 000 f et son expédition pour 137 500 f, soit un total de près de 800 000 f.

Grâce à ces sacrifices, l'Association a pu faire une publication qui vient en tête de tous les bulletins de Sociétés analogues et qui a largement contribué à la faire connaître au dehors et lui assurer le degré de développement dont on peut juger par ce qui précède.

Les précurseurs de l'automobile. — Le supplément du *Scientific American* reproduit, du journal allemand le *Gartenlaube*, un très curieux article illustré dont nous nous contentons de donner ici le texte en renvoyant au journal américain, pour les figures, ceux de nos collègues que la question intéresserait.

Au moyen âge, un véhicule quelconque était en quelque sorte une rareté, car les marchandises et les gens voyageaient plus souvent à dos de chevaux et de mulets que sur des roues. Ce n'est qu'à la fin de cette période qu'on vit apparaître des voitures pour transporter les personnes, et elles étaient réservées aux princes, aux grandes dames et aux invalides.

Le retard apporté au développement de moyens de transport plus commodes tient, d'une part, à ce que la chevalerie avait fait de l'usage du cheval partie intégrante, pour ainsi dire, de la vie de la noblesse, et, de l'autre, à ce que l'état déplorable des quelques routes qui existaient, les impôts et les droits de circulation ne permettaient les transports sur essieux qu'à quelques privilégiés.

L'apparition du véhicule sans chevaux suivit de près celle des premières voitures. Sa forme fut d'abord celle d'un bateau et son moteur, le vent. Un engin de ce genre est décrit dans un manuscrit italien écrit en 1430 et conservé au musée des Offices de Florence, mais l'idée est plus ancienne, car plusieurs des figures de ce manuscrit sont reproduites d'un autre encore plus ancien dont il existe quelques fragments aux Offices.

La mention d'une voiture sans chevaux se retrouve, après, en Allemagne. Les chroniques de la ville de Memming, à la date de 1447, indiquent qu'un véhicule, qui n'était traîné ni par des hommes, ni par des animaux, a été de la porte de la ville à la place du marché et retour, en portant son constructeur. C'est probablement la première mention d'une voiture sans chevaux.

Le passage tant de fois cité du moine Bacon, qui remonte à 1230, est trop vague pour qu'on puisse le regarder comme autre chose que l'indication d'un desideratum. Cet auteur dit qu'on pourrait faire un char qui se déplacerait avec une vitesse incroyable sans avoir besoin d'animaux pour le traîner. Il est probable que ce que le célèbre religieux anglais considérait comme une vitesse incroyable serait très peu de chose pour nous, car rien ne s'est plus modifié, depuis l'origine surtout des chemins de fer, que les idées de l'homme sur la vitesse.

On trouve ensuite des indications sur le sujet, dans le premier livre illustré imprimé en Italie, un ouvrage sur l'art militaire dû à un Ingénieur du nom de Roberto Valturio. Au milieu de descriptions de machines d'une haute fantaisie, on trouve celle d'une voiture portant de chaque côté des ailes de moulin à vent qui, par des engrenages, transmettaient le mouvement aux roues ; il y a là, au moins en théorie, un perfectionnement important du char à vent de 1430.

Les moulins à vent, qu'on croit généralement originaires de Hollande, ont été employés bien avant en Saxe, où leur usage est mentionné dans des documents officiels remontant au neuvième siècle. Avant qu'ils fissent leur apparition dans les Pays-Bas au quatorzième siècle, ils étaient connus en France et en Angleterre, et ils avaient été introduits en Italie dès 1332. L'idée d'un véhicule mû par un moulin à vent est probablement plus ancienne que l'ouvrage de Valturio, car dans les premiers temps de l'imprimerie, on ne s'en servit pas pour faire connaître des nouveautés. Le dessin de la voiture automobile donné dans ce livre représente une perspective impossible, mais qui a le mérite de bien faire comprendre la disposition de l'appareil. Il montre, en effet, en même temps le devant et les deux côtés de la voiture. Les moulins à vent sont ridiculement petits et sont probablement figurés seulement comme indication du genre de moteur.

On trouve ensuite, dans les comptes de la ville d'Anvers pour l'année 1479, l'indication d'une somme de douze livres d'argent payée à Gilles de Dorn pour la construction d'une voiture mue par un mécanisme invisible. On ne trouve aucun détail sur ce véhicule, mais comme il fut acheté par la ville, on peut supposer qu'il s'agit de quelque engin militaire. C'était probablement un appareil inspiré de la voiture à moulin à vent de Valturio, car les dessins de l'ouvrage de celui-ci avaient été reproduits pour illustrer une traduction allemande d'un traité d'art militaire écrit par l'auteur romain Vegetius, traduction publiée à Ulm en 1472-75. Cet ouvrage, dont on ne connaît que trois exemplaires, est le plus ancien ouvrage en allemand sur ce sujet et il est probable que le constructeur anversois le connaissait.

Dès le commencement du XVI^e^ siècle, on voit mentionner des véhicules mus par la force de l'homme et qui constituent une forme intermédiaire;

le plus ancien engin de ce genre est décrit par Petrus Albinus dans les chroniques de la ville de Pirna, qui se trouvent à la bibliothèque royale de Dresde. L'auteur dit qu'en 1504 un habile mécanicien construisit une voiture qu'il faisait marcher en tournant une manivelle ou une roue. Au premier essai public fait en présence d'une foule considérable, le véhicule resta pris dans la boue qui était très épaisse.

On ne dit pas si on fit un autre essai dans des conditions plus favorables. On peut se faire une idée approximative de l'apparence générale de cette voiture au moyen de figures contenues dans un ouvrage sur le « Cortège triomphal de l'empereur Maximilien ». Les clichés sur bois qui ont servi a l'impression des figures, sont encore la propriété de la famille impériale d'Autriche. Ils ont dû être faits vers 1518; mais il est probable que la voiture représentée n'a jamais été exécutée, car le mécanisme ne paraît pas devoir fonctionner. Il y a deux essieux portant chacun à l'extérieur des roues un engrenage en rapport avec un autre à nombre à peu près égal de dents placé au-dessus. Ce second engrenage porte des alluchons qui engrènent avec un pignon à lanterne porté par un axe vertical terminé à la partie supérieure par une manivelle; les manivelles de chaque arbre sont accouplées par une bielle disposée comme dans les locomotives et une autre bielle articulée sur le bouton de manivelle est actionnée par un homme qui en tire et en pousse alternativement la tête ; ce mode de transmission est à signaler à titre de curiosité.

Vers le milieu du xvi[e] siècle, un inventeur de Nuremberg nommé Berthold Holzschuber, légua à son fils un livre contenant une masse de notes et de dessins relatifs à des voitures mécaniques avec injonction expresse de ne jamais les laisser voir à personne. Ce livre est maintenant au musée allemand à Nuremberg. Une des figures représente une lourde voiture contenant huit voyageurs et un conducteur et que huit hommes font avancer en tournant des manivelles. L'auteur indique l'addition à son véhicule d'un parapet pour abriter les hommes et d'une pièce de canon.

Cent ans plus tard, deux inventeurs, également de Nuremberg, firent des voitures sans chevaux dont le souvenir a été conservé; mais, sur ces entrefaites, les véhicules à voiles étaient entrés dans la pratique. Le premier qui les employa paraît être le prince d'Orange, stathouder des Pays-Bas ; sa voiture avait été faite sur les plans du mathématicien Simon Stevin, on en a un dessin qui se trouve en marge d'une carte de Hollande et un autre fait par un voyageur allemand, qui l'a donné dans ses notes d'un voyage dans les Pays-Bas. Ce véhicule remonte à 1599. On rapporte qu'il marchait sur le bord de la mer à une vitesse de trente milles à l'heure; ce serait beaucoup pour l'époque et même les premières locomotives n'atteignirent pas cette rapidité de translation. L'évêque Wilkins, écrivant en 1648, va plus loin et dit que les chars à voiles, employés d'un temps immémorial en Chine et en Espagne, peuvent atteindre de niveau une vitesse de 100 milles (160 km) à l'heure.

Un des inventeurs de Nuremberg dont il a été question plus haut, Hans Hautsch, paraît avoir été un homme de génie, mais aimant beau-

coup le mystère. Son invention la plus remarquable, dont la propriété lui est confirmée par un témoignage écrit du grand Leibnitz, est le réservoir d'air pour pompes foulantes. Il a laissé des notes très développées sur sa voiture mécanique, mais, en fait de détails, il se borne à dire qu'elle était actionnée par un mouvement d'horlogerie. C'est difficile à admettre en présence de la minime quantité de travail que peut emmagasiner un ressort, et de l'état peu avancé de la mécanique au XVII^e siècle. Il est plus probable, comme on l'a dit, que cette voiture était mue par des enfants cachés à l'intérieur ; la vitesse ne dépassait pas, paraît-il, 1 500 à 2 000 m à l'heure. Ce n'était donc guère autre chose qu'un jouet compliqué et sans application pratique, c'est ce qui résulte de la description sommaire de l'auteur. « Le dragon (qui forme l'avant de la voiture) roule les yeux, dit-il, et crache de l'eau, tandis que les anges sonnent de la trompette. Le dragon boit de l'eau, du vin, de la bière, de l'hydromel, etc., mais il préfère la dernière de ces boissons et son haleine est parfumée. »

Ce véhicule a probablement été construit vers 1649 ; il fut acheté par Charles X de Suède, et un autre exemplaire fut fait pour le roi de Danemark.

Un contemporain de Hautsch, l'horloger Stephan Farfler, se proposa un but tout différent ; il était perclus et inventa pour son usage personnel un véhicule qu'il faisait mouvoir au moyen d'une manivelle. C'est un fait connu que des chaises sur roues pour invalides avec propulsion par l'occupant, se vendaient couramment à Nuremberg dès 1650, mais on ne sait si ces voitures étaient l'invention de Farfler ou de Hautsch. La seconde voiture faite par Farfler et qui a quatre roues est encore conservée dans la bibliothèque de Nuremberg. Depuis cette époque, on semble se désintéresser des voitures mécaniques. Deux spécimens seulement méritent d'être mentionnés : l'un, qui remonte à 1690, était employé par un médecin de La Rochelle, du nom de Richard, qui s'en servait pour faire ses visites et dans laquelle un domestique placé à l'arrière agissait sur des pédales pour faire tourner les roues ; l'autre est la Draisine, appelée ainsi du nom de son inventeur.

En 1817, un jeune forestier de Mannheim nommé Von Drais, fit la demande d'une patente pour un véhicule actionné par ses occupants ; cette demande fut rejetée sous le prétexte qu'un système de ce genre était déjà en usage. L'inventeur simplifia ses arrangements et réduisit la voiture à la forme d'une bicyclette qu'il breveta en 1818.

Dans la dernière partie du XVII^e siècle, on commença à se rendre compte de la puissance des gaz et de la vapeur par les travaux de Goericke, Torricelli, Boyle, Papin et autres. Sir Isaac Newton paraît avoir eu la première idée d'une automobile mue par la vapeur. Il a du moins essayé à plusieurs reprises, entre 1663 et 1680, de faire mouvoir un petit char par la réaction de la vapeur sortant par un jet d'une chaudière portée par ce char et chauffée par une lampe à esprit de vin. Kircher a proposé, à peu près à la même époque, d'employer, pour la propulsion d'un véhicule, la contraction et la dilatation successives d'une colonne de mercure alternativement chauffée et refroidie.

La première voiture à vapeur qui mérite ce nom est celle de Cugnot,

bien que des idées sur le sujet aient été émises en 1700 par Savery et en 1759 par Robison. La voiture de Cugnot date de 1769 ; elle est, comme on sait, au Conservatoire des Arts et Métiers, et fait grand honneur à son inventeur. L'auteur allemand auquel nous empruntons les renseignements qui constituent cette note dit que Napoléon qui pensionna Cugnot, lorsqu'il fut admis à l'Institut de France, présenta à ce corps savant un travail sur l'emploi des automobiles en temps de guerre. Nous lui laissons la responsabilité de ce dire qui serait intéressant à contrôler.

Un point historique oublié aujourd'hui est qu'en 1831 la Chambre des Communes, au moment où le développement des chemins de fer était en question devant elle, institua une Commission pour étudier les mérites relatifs des locomotives roulant sur rails et des voitures à vapeur routières. Cette Commission se prononça en faveur des premières, mais les avocats de ce que nous appellerions aujourd'hui des automobiles cherchèrent à influencer l'opinion publique en établissant des services réguliers de voitures à vapeur, sur divers points, notamment entre Gloucester et Cheltenham, distants de 60 km environ. Le nouveau mode de transport se trouvait là en concurrence avec la vieille diligence, à chevaux et remporta facilement la victoire. En 1835, on fit des essais avec une voiture électrique inventée par les professeurs Stratingh et Becker, de Groningue. Cette voiture ne réussit pas, pas plus que toutes celles qui furent essayées ensuite jusqu'à ces derniers temps. L'inventeur de la voiture à gazoline paraît être Siegfried Markus, de Vienne, lequel construisit en 1875 une voiture qui appartient à l'Automobile Club d'Autriche.

Le fer dans l'antiquité. — M. Bennett H. Brough a fait devant la West of Scotland Iron and Steel Institute une conférence sur le sujet qui fait le titre de cette note et nous en donnons ici un résumé d'après l'*Iron and Coal Trades Review*.

La date de la découverte du fer a été l'objet de beaucoup de discussions et on croit généralement que le fer employé d'abord par l'homme était d'origine météorique. M. Otto Vogel a trouvé dans des passages des premières poésies finnoises l'indication de ce fait et Sir Henry Bessemer en 1895 a cité des témoignages d'après lesquels on se serait servi dans la construction des pyramides d'un métal composé de fer et de nickel d'origine météorique. Il est toutefois permis d'émettre des doutes très sérieux à cet égard.

On a beaucoup discuté sur l'époque où le fer a été mis en usage en Égypte. Certains prétendent qu'on s'en servait déjà dans les temps mythologiques, tandis que d'autres n'en feraient remonter guère l'emploi qu'à 600 ans avant l'ère chrétienne et, sans tenir compte de faits évidents, prétendent qu'avant l'époque qu'ils indiquent on ne connaissait que les outils de pierre, de cuivre et de bronze et que ces outils ont servi à l'érection des pyramides. Ces monuments, qu'on a mis au nombre des merveilles du monde, ont été édifiés environ 3 000 ans avant Jésus-Christ.

On ne peut contester que le fer fût connu des Égyptiens, même à une

époque très reculée ; cela n'a rien d'étonnant en présence des connaissances avancées en métallurgie de ce peuple, du fait que le travail du granit et du porphyre se conçoit difficilement sans l'emploi d'outils en acier et que les tombes les plus anciennes portent des inscriptions où il est fait mention du fer ; enfin le professeur Bauermann a trouvé dans la Haute-Égypte des gisements de minerai de fer au manganèse portant des marques évidentes d'une exploitation très ancienne.

Des découvertes archéologiques ôtent tout doute à cet égard. Une faucille en fer a été trouvée par Belzoni au pied d'un des sphinx de Carnac ; il est au British Museum et est un échantillon de l'art du forgeron à une époque reculée. En 1837, on a trouvé dans la Grande Pyramide un fragment d'outil en fer dont on peut évaluer l'âge à 5 000 ans et qui est également au British Museum. L'analyse a fait constater dans le métal de cette pièce un peu de nickel, mais, comme il contient aussi du carbone en combinaison, on ne peut lui attribuer une origine météorique. On voit aussi au même Musée un morceau de fer rouillé qu'on a trouvé enveloppé dans un fragment d'étoffe avec un miroir et des outils en bronze et qui remonte à 3 000 ou 3 300 ans avant notre ère.

La plupart du fer employé en Égypte venait d'Éthiopie qui paraît avoir été le berceau de la fabrication de ce métal ; il en était aussi apporté par des marchands phéniciens. Du reste, les images qu'on a trouvées et qui représentent les phases de la fabrication du fer permettent d'identifier cette fabrication avec celle qu'on trouve encore aujourd'hui exercée par les populations éthiopiennes. Une pierre gravée, conservée à Florence, montre un esclave noir faisant agir des soufflets dont le vent est amené par un conduit de bambou dans une cavité creusée dans le sol et où le métal est en fusion. Une seconde figure fait voir des ouvriers forgeant un morceau de fer avec un marteau de pierre sur une enclume de même matière posée sur un bloc de bois. Des dessins sur des tombeaux égyptiens montrent que l'usage des soufflets était connu 1 500 ans avant Jésus-Christ.

Si on se reporte aux voisins orientaux des Égyptiens, c'est-à-dire les populations d'origine sémitique habitant les contrées situées entre la Perse et la Méditerranée, on constate que le fer était connu des Chaldéens dès les temps les plus anciens. Il est vrai que la destruction du fer par la rouille a empêché de trouver beaucoup d'objets de ce métal dans les ruines de Babylone, on a cependant découvert des anneaux et des bracelets en fer. Une inscription cunéiforme conservée au British Museum dit quelque chose comme ceci : « J'ai tué un lion avec un glaive de fer ». En 1867, on a trouvé dans les ruines du palais de Khorsabad une quantité de morceaux de fer percés de trous destinés évidemment à en faciliter le transport. Les rois d'Assyrie conservaient dans leur trésor des quantités de ce métal pour les employer dans la construction ou pour l'armement. Les Assyriens connaissaient l'acier, mais, comme tous les anciens peuples, ils n'avaient aucune notion de la fonte.

En Syrie, la réputation des lames de sabres de Damas remonte à une haute antiquité. Au temps d'Abraham, Damas était déjà un centre

commercial important. Plus tard, l'empereur Dioclétien y établit une fabrique d'armes pour ses armées ; à l'époque des Croisades, les lames d'épées faites d'un mélange d'acier et de fer, polies et légèrement damasquinées, étaient recherchées dans toute l'Europe. Avant que Moïse se dirigeât vers la Terre Promise, celle-ci était déjà le siège d'une civilisation avancée dont profitèrent les Hébreux et aussi les Phéniciens. Ces derniers trafiquaient dans le monde entier des produits de la Palestine et étaient plus avancés en métallurgie que les Hébreux, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par les récits de la Bible relatifs aux ferrures du Temple de Salomon. Toutefois, de nombreuses inscriptions témoignent de la connaissance qu'avaient les Israélites du travail du fer et de l'acier (1).

Dans l'Inde, le fer fut connu à une époque très ancienne et employé pour les armes et les outils. Les minerais étaient abondants et le manque de cuivre a fait qu'il n'y a pas eu d'âge de bronze dans ces contrées. Le fer et l'acier de l'Inde avaient, dès les temps reculés, une grande réputation dans le monde, et les gens du pays devaient avoir des connaissances très avancées en métallurgie. On en trouve la preuve dans le pilier en fer de Delhi qui a 15 m de hauteur et 0,40 m de diamètre et est composé de pièces de 22 kg soudées ensemble. Ce travail remonte au moins à 900 ans avant l'ère chrétienne.

Les méthodes indiennes du travail du fer et de l'acier paraissent avoir été introduites en Europe au moyen-âge par les tribus bohémiennes originaires, paraît-il, de l'Inde. Une autre terre classique de la sidérurgie est l'Arménie, le pays des Chalybes, dont les rois d'Assyrie tiraient le fer à titre de tribut. Les Chalybes étaient regardés par les Grecs comme les inventeurs du fer et leur nom servait à désigner l'acier.

Des recherches récentes semblent indiquer que le fer était connu des Chinois 2300 ans avant Jésus-Christ. Marco Polo, dans son voyage exécuté au treizième siècle, parle de l'emploi de la houille en Chine, mais il ne dit rien de particulier sur l'industrie du fer dans cette contrée.

Le Japon paraît avoir été civilisé par les Chinois vers 1200 avant l'ère chrétienne. L'industrie du cuivre a été florissante dans ce pays dès les temps anciens et on y a exploité depuis longtemps les minerais de fer ; les opérations, jusqu'à l'introduction des méthodes européennes, étaient des plus primitives et cependans on descendait à de grandes profondeurs. Swedenborg, écrivant en 1734 (*De Ferro*, page 194), dit que les Japonais font l'acier en forgeant le fer en barres et en les enterrant pendant huit ou dix ans dans un sol marécageux : ce qui n'est pas détruit par la rouille est devenu de l'acier. Ce procédé est indiqué par divers écrivains classiques comme employé dans d'autres pays. Il serait intéressant de vérifier s'il y a quelque fondement dans cette assertion.

Les sabres japonais ont une très grande réputation et les méthodes de fabrication sont encore les mêmes aujourd'hui. On se sert de mine-

(1) Nous rappellerons toutefois que d'après une inscription relative au percement de la galerie de Shiloah (Chronique de juin 1905, page 1017), ce travail qui date de 700 ans avant Jésus-Christ a été fait avec des outils en bronze. A. M.

rais formés principalement de sables magnétiques dont l'usage remonte à l'année 1264. Ce minerai est concentré par une préparation mécanique jusqu'à contenir environ 60 % de fer. On le traite dans des fours rectangulaires de 3 m de longueur sur 1,20 à 1,80 m de hauteur soufflés à bras d'hommes ; on obtient partie de la fonte et partie une masse de fer et d'acier. L'antiquité de l'industrie du fer au Japon a été mise en lumière par le professeur Gowland qui a fait une étude très complète de la métallurgie de ce pays. Il a trouvé dans des chambres mortuaires qui remontent à plusieurs siècles avant Jésus-Christ, des sabres en fer, des pointes de flèches et de lances et des pièces de harnais de chevaux de même métal. Dans beaucoup de pays, les objets qu'on trouve dans les anciennes sépultures sont en pierre ou en bronze, mais au Japon tous appartiennent à l'âge du fer.

Nouveau combustible préparé avec le lignite. — On fabrique, près de Dresde, un nouveau combustible auquel on a donné le nom de kaumazite, au moyen du lignite de Bohême. D'après un article de M. Buchner publié dans le *Zeitschrift der Vereines Deutscher Ingenieure*, la matière première est chauffée pendant vingt-quatre heures dans des cornues analogues aux cornues à gaz ; le produit est retiré toutes les trois heures de la partie inférieure des cornues et mis à refroidir. Ce traitement vaporise l'eau hygroscopique du lignite, dont la proportion est de 25 à à 28 %, et cette eau entraine les hydrocarbures lourds qui sont contenus dans la matière. Pour favoriser cette distillation, on fait régner un vide partiel dans les cornues. Les gaz qui en sortent sont refroidis et passent dans des scrubbers, après quoi on les utilise en partie à chauffer les cornues et en partie à actionner des moteurs à gaz ; une portion peut même être vendue pour être employée dans diverses industries dans le voisinage de l'usine.

La valeur calorifique de la kaumazite est de 6 750 calories. Elle contient 77,34 de carbone, 14,9 de cendres, 1,47 d'hydrogène et 4,20 % d'humidité hygroscopique. Ce combustible se vend pour les gazogènes à aspiration, pour le chauffage des chaudières ; on en fait aussi des briquettes pour chauffage à combustion lente. L'analyse indique que ce n'est pas un combustible à gaz, mais à forte proportion de carbone. Il lui faut pour brûler une température élevée. Il donne de bons résultats pour le chauffage des chaudières dans des foyers à cendriers clos soufflés par un ventilateur. On a obtenu dans ces conditions un rendement de 72 % pour les générateurs. Il faut alors s'arranger pour que, lorsqu'on ouvre la porte du foyer, il n'y ait ni refoulement de la flamme au dehors ni rentrée excessive d'air ; on y arrive en ayant un tirage d'environ 7 mm d'air par la cheminée et une pression d'air à peu près égale dans le cendrier.

Dans les essais faits avec ce combustible, on n'a eu que 19 % d'air en moyenne au-dessus de la quantité théoriquement nécessaire pour la combustion complète. C'est un combustible qui ne donne pas de fumée et son prix de vente à Dresde est assez bas pour qu'il puisse, pour l'emploi dans diverses industries, donner une économie de 3 à 10 % par rapport au charbon ordinaire.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

1er trimestre de 1906.

Notice sur **la construction d'une tour en béton de ciment pour le phare de la Coubre**, par M. ALEXANDRE, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette tour est établie au milieu d'un massif de dunes dont le sol est formé de couches de sable fin de grosseur variable, plus ou moins mélangé de coquilles et de graviers. La fondation a été constituée par un massif de beton de ciment de 600 m³ encastré dans le sable; le diamètre de ce massif est de 16 m à la base et sa hauteur de 3,50 m au-dessus du sol, la pression moyenne par centimètre carré n'est que de 2.75 m et, en tenant compte de la pression du vent 3,40 kg. On a élevé sur cette base un fût dont le profil est curviligne sur 14 m environ de hauteur en partant d'un diamètre à la base de 10,70 m; au-dessus le profil est rectiligne avec un fruit de 26 0/00. La hauteur totale est de 58,90 m et la hauteur du plan focal au-dessus des hautes mers de 64 mètres; le vide intérieur cylindrique a 3,50 m de diamètre. On pilonnait le béton entre deux coffrages, l'un intérieur formant le vide central de la tour, l'autre constituant le profil extérieur.

On a commencé la fondation le 1er décembre 1904, la tour a été terminée le 25 juillet 1905 et le phare a été mis en service régulier le 1er octobre de la même année. Les dépenses se sont élevées à 460 000 f dont 171 000 f pour l'exécution de la tour proprement dite et 150 000 f environ pour les appareils mécaniques et électriques. Ce phare a la puissance lumineuse la plus considérable de France : 3 millions de becs Carcel. Il est situé à 10 kilomètres environ de Royan.

Ponts suspendus et ponts en arc; note de M. G. LEBERT, Ingénieur-chef des Ponts et Chaussées.

M. Considère, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, a montré que les méthodes de calcul des ponts en arc peuvent être immédiatement appliquées aux ponts suspendus en supposant que les câbles soient souples et que le tablier soit muni de poutres raidissantes. Le problème à résoudre consiste à déterminer les réactions qui s'exercent entre le cable souple et le longeron par l'intermédiaire des montants verticaux. M. Godard a choisi une méthode qui a l'avantage de tenir compte du plus ou moins de raideur du pont. Elle devient applicable aux ponts en arcs, d'après les indications de M. l'Inspecteur général Considère. L'auteur s'est proposé, dans la présente note, d'appeler l'attention sur quelques points de la théorie de M. Godard et sur les applications de la méthode de celui-ci.

Épuration des eaux usées, note de M. MICHEL, Élève-Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette note débute par un aperçu historique sur l'assainissement des villes qui est de date récente. Paris n'avait encore, en 1840, que 50 kilomètres d'égouts alors qu'il en a 1 500 aujourd'hui. L'assainissement des rivières n'est pas moins important.

L'auteur, après avoir démontré succinctement la nécessité d'épurer les eaux usées, examine les divers procédés d'épuration : procédés mécaniques, procédés biologiques et procédés chimiques. La composition des eaux usées joue un grand rôle dans le choix à faire de ces procédés ; cette composition se reconnaît par l'analyse chimique et par l'analyse bactériologique. *(A suivre).*

Mémoire sur **le vidage des systèmes de réservoirs,** par M. Ed. MAILLET, Ingénieurs des Ponts et Chaussées,

L'auteur étudie la variation du débit des réservoirs cylindriques communiquant soit par des orifices noyés ou non, soit par des déversoirs superficiels supposés non noyés.

Influence de la température de l'eau dans laquelle sont conservées les éprouvettes d'essai sur leur résistance, par M. MERCIER, Conducteur des Pont et Chaussées.

On fait des expériences pour rechercher dans quelle mesure varient les résistances des éprouvettes aux périodes de sept et vingt-huit jours quand la température du bain de conservation s'écarte de la température fixée. On peut résumer les résultats obtenus dans ces expériences en disant que, pour les ciments portland, l'influence de la température est peu marquée ; avec certains ciments, on a obtenu la résistance la plus élevée à la température de 11 degrés ; pour d'autres, à 20 ou 25 degrés. Pour les chaux hydrauliques, l'influence est beaucoup plus marquée ; entre 11 et 16 degrés et entre 16 et 25 degrés on peut avoir des écarts dans la résistance à la traction de 25 0/0 pour la première différence et de 15 pour la deuxième. On voit que la température de l'eau de conservation des éprouvettes n'est pas indifférente.

Note sur **la construction d'un appareil à enregistrer les vitesses** et à totaliser les débits des conduites forcées et des niveaux découverts, par M. PARENTY, directeur des Manufactures de l'Etat.

Le point de départ de cet appareil est un tube de Pitot plongé dans la conduite ; la vitesse variable de l'eau se traduit par une dénivellation d'une colonne mercurielle ; c'est cette dénivellation que l'instrument enregistre ; il comprend, en outre, un totalisateur qui donne les débits. On peut employer cet appareil pour le jaugeage des cours d'eau.

Note sur **les résultats des épreuves des tabliers métalliques** de la ligne de Quillan à Rivesaltes, par M. GARAU, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette note a pour objet d'exposer le résultat des mesures faites pour les flèches avec les appareils Bosranier et Richard et, pour le travail,

avec les appareils Manet-Rabut et de les comparer avec les résultats donnés par le calcul. Ces recherches portent sur les travées et aussi sur les efforts secondaires dans les éléments du treillis. Pour les premiers, les résultats sont sensiblement concordants ; pour les seconds, l'écart des efforts observés et de ceux calculés dans l'hypothèse habituelle de l'articulation est très sensible.

Note sur **les travaux de consolidation du viaduc de la Canche**, exécutés en 1903-1904, par M. J. Lefebvre, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ce viaduc de quinze arches de 14 mètres, a été exécuté en 1847-48 par l'ancienne Compagnie du Chemin de fer d'Amiens à Boulogne. Il est en briques : les piles et culées sont en pierres fondées sur pieux surmontés d'un grillage. On constata, il y a quelques années, que les voûtes prenaient des flèches au passage des trains ; ces voûtes surbaissées au 1/7e, travaillaient à 16 kg par centimètre carré, ce qui était beaucoup pour de la brique ancienne. On résolut de renforcer le pont. On y arriva en construisant des voûtes additionnelles placées sous les anciennes, avec un intervalle de quelques centimètres dans lequel on injecta sous pression une coulée de ciment. Le succès a été complet, les travaux ont duré six mois sans aucune interruption de l'exploitation et avec un simple ralentissement de la vitesse.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 18. — *5 Mai 1906.*

Aperçu historique sur les barrages et leur construction, par O. Intze.

Transport des voyageurs et des marchandises par voitures automobiles, par A. Heller.

Le navire pour transport de minerai *Narvik*, construit aux chantiers Germania, par M. Herner.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Le droit des employés relativement à leurs inventions.

Groupe de Francfort. — Importance d'un langage universel pour les Ingénieurs.

Groupe de Hambourg. — Les billes et galets dans la construction moderne des machines.

Revue. — Installation d'essais de locomotives à Swindon. — Dalles en ciment armé pour les voies de tramways.

N° 19. — *12 Mai 1906.*

Installations électriques de Wangen-sur-Aar, exécutées par la Société d'Électricité, précédemment W. Lahmeyer et C^ie^, à Francfort-sur-le-Mein, par K. Meyer.

Transformation du lignite en gaz pour la production de la force motrice, par H. Newmann.

Aperçu historique sur les barrages et leur construction, par O. Intze *(suite)*.

Exposition bavaroise du Jubilé à Nuremberg en 1906, par J. Wallich.

Groupe de Dresde. — Fabrique d'acier fondu de Döhlen.

Bibliographie. — Les machines-outils et leur construction, par Fr. W. Hülle. — Manuel des installations de courants à haute tension, par E. Hirschfeld.

Revue. — Fours générateurs de la Diamond Portland Cement Company.

N° 20. — *19 Mai 1906.*

Les installations de force motrice de la Sill, près d'Innsbruck.

Transport des voyageurs et des marchandises par voitures automobiles, par A. Heller *(suite)*.

Chemin de fer électrique Brunnen-Morschach (Suisse), par W. A. Müller.

Le Codice Atlantico de Leonard de Vinci, par Th. Beck *(fin)*.

Association des chemins de fer. — Le service électrique de la ville de Hambourg et la ligne de banlieue Blankenese-Oldsdorf.

Réunion générale des maîtres de forges allemands, à Dusseldorf, le 29 avril 1906.

Bibliographie. — Le Pensylvania Railroad à l'Exposition de Saint-Louis. — Essais de locomotives et objets exposés. — Développement de l'emploi des moteurs à induction pour les courants alternatifs monophasés, par R. von Koch.

Revue. — Appareils à décharger le charbon de la Thames Ironworks Shipbuilding Company. — Variétés.

N° 21. — *26 Mai 1906.*

Le canal maritime de Bruges, par K. Kaemmerer.

Les installations de force motrice de la Sill, près d'Innsbruck *(suite)*.

Aperçu historique sur les barrages et leur construction, par O. Intze *(suite)*.

Locomotive avec distribution par soupapes, construite par la Société Hanovrienne, précédemment Georg Egertorff, par Metzeltin *(suite)*.

L'enseignement des sciences mathématiques et naturelles au point de vue de la réforme scolaire.

Groupe de Berlin. — Développement des moyens de transport dans le monde.

Bibliographie. — Théorie et construction des ponts en encorbellement, par F. Bohny.

Revue. — Le torpilleur à turbines allemand 125. — Le service hydraulique de Philadelphie. — Variétés.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. MALLET.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 11665-7-06. — Encre Lorilleux.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JUIN 1906

N° 6

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de juin 1906, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

GUILLEN GARCIA (G.-J. de). — *El Agua. Sus aplicaciones à la agricultura*, por Guillermo J. de Guillen Garcia (in-8°, 220 × 140 de 548 pages avec 296 figures). Barcelona, Francisco Guig, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44443

Triennal Revenue Report of the Public Works Department, Irrigation Branch, Bengal, for the three years ending 1904-1905 (in-4°, 335 × 210 de 94 p. avec pl.) Calcutta, Printed at the Bengal Secretariat Press, 1906. 44458

Arts militaires.

Table générale des matières de la Revue du Génie militaire disposée par ordre alphabétique (1re suite). Tomes XXI à XXX (Années 1901-1905) (in-8°, 220 × 140 de 86 p.) Paris, Nancy, Berger-Levrault et Cie, 1906. 44448

Chemins de Fer et Tramways

COENE (J. de). — *Rapport sur un projet de chemin de fer de Pont-Audemer au Havre. Traversée de la Seine vers Tancarville ou Quillebeuf. Tunnel sous-fluvial en fonte et maçonnerie.* Projet dressé par M. Jean Berlier, par M. J. de Coëne (Société industrielle de Rouen. 31e année. Extrait du Bulletin n° 3, Mai et Juin 1903 (in-8°, 265 × 175 de 16 p.) Rouen, J. Girieud et Cie. 1903. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44429

Compagnie du chemin de fer du Nord. Assemblée générale du 28 avril 1906. Rapport présenté par le Conseil d'administration. Résolutions de l'Assemblée générale (in-4°, 270 × 215 de 106 p.) Lille, L. Danel. 1906. 44433

Chimie

GRANDEAU (L.). — *La production électrique de l'acide nitrique avec les éléments de l'air*, par L. Grandeau. Le nitrate de chaux et l'agriculture. Le four électrique Byrkeland-Eyde. La fabrique de nitrate de chaux de Notodden (in-8°, 245 × 160 de 60 p. avec 7 fig. et 22 simili-gravures). Paris, Berger-Levrault et Cie; Librairie agricole de la Maison rustique; Librairie du Temps, 1906. (Don de la Société Norvégienne de l'azote. Comité de Paris.) 44432

Construction des Machines

BOMMIER (Dr R.). — *Le Bréviaire du Chauffeur. Anatomie. Physiologie. Pathologie. Thérapeutique et hygiène de la voiture automobile et des motocyclettes*, par le Docteur R. Bommier (in-8°, 195 × 125 de x-391 p. avec 140 fig.) Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44430

Bouilleurs pour la distillation de l'eau de mer à bord des navires ou à terre. Réparation des pertes d'eau d'alimentation des chaudières. Production d'eau potable (Société anonyme des Forges et Chantiers de la Méditerranée. Direction des Ateliers de Marseille) (in-4°, 275 × 225 de 35 p. avec 8 fig. et 1 photog.) Marseille, Barlatier, 1906. (Don de la Société anonyme des Forges et Chantiers de la Méditerranée.) 44435

CODRON (C.). — *Expériences sur le travail des machines-outils pour les métaux*, par C. Codron. 2e *fascicule*, *Forage* (Extrait du Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale 1903-1905) (in-4°, 235 × 225 de 551 p. avec figures 586 à 1512). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44436

COLFARD (C. de). — *Transmission des forces motrices*, système C. de Colfard, 1905 (in-8°, 225 × 165 de 12 p. avec 3 fig.). Bordeaux, E. Taffard 1905. (Don de l'auteur.) 44431

Instructions pour la conduite et l'entretien des bouilleurs type S. P. (Société anonyme des Forges et Chantiers de la Méditerranée) (in-4°, 275 × 215 de 7 p. avec 4 fig.) Marseille, Barlatier, 1906. (Don de la Société anonyme des Forges et Chantiers de la Méditerranée.) 44436

Économie politique et sociale.

Bulletin de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail. Année 1906. N° 18 (in-8°, 240 × 155 de 135 p.) Paris, Au siège de l'Association, 1906. 44456

Obozinsky (J.). — *Mon voyage aux États-Unis d'Amérique.* Aperçu des causes du développement industriel et commercial de ce pays. Conférence faite à la Société le 17 janvier 1906, par M. J. Obozinski (Société Belge des Ingénieurs et des Industriels) (in-8°, 240 × 155 de 24 p. avec 1 carte). Bruxelles, A. Lesigne, 1906. (Don de la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels.) 44441

Électricité.

Hollard (A.) et Bertiaux (L.). — *Analyse des métaux par l'électrolyse, Métaux industriels, Alliages, Minerais, Produits d'usines*, par A. Hollard et L. Bertiaux (in-8°, 255 × 165 de XII-183 p.) Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don de M. A. Hollard, M. de la S.) 44459

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. July to December 1903. Vol. XXII. (in-8°, 255 × 160 de VIII-807 p.) New-York City, Published by the American Institute of Electrical Engineers, 1904. 44437

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. January to December 1904. Vol. XXIII. (in-8°, 255 × 160 de VIII-846 p.) New-York City, Published by the American Institute of Electrical Engineers, 1904. 44438

Géologie et Sciences naturelles diverses.

Guarini (É.). — *Les tremblements de terre. Leur origine électrique possible. Les tremblements de terre au Pérou*, par Émile Guarini (in 8°. 245 × 155 de 26 p.) Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44452

Législation.

Annuaire de l'Association amicale des anciens Élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures. Promotions de 1832 à 1905 (in-8°, 220 × 150 de 692 p.) Paris, 1, rue de Stockholm, 1906. 44442

Annuaire de l'Association internationale pour la protection de la propriété industrielle. 9e année 1905. Congrès de Liège 12-15 septembre 1905. Fascicule II (in-8°, 230 × 150, pages 149 à 478 et pages I à XXXIII.) Paris, H. Le Soudier, 1906. 44440

Bulletin de l'Association française pour la protection de la propriété industrielle (1905-1906). Congrès d'Angoulême, 11-13 Juin 1905 et de Cognac, 14 juin 1905 (in-8°, 245 × 160 de 129 p.) Paris, Au siège de l'Association française, 1906. 44439

Directory of the Engineers' Club of Philadelphia 1906. Corrected to April 7th incl. (in-32, 125 × 75 de 124 p.) 44455

Förteckning öfver Svenska Teknologföreningens. Ledamöter, April 1906 (in-8°, 205 × 135 de 80 p.) Stockholm, P.-A. Norstedt et Söner, 1906. 44444

Societe d'Encouragement pour l'industrie nationale. Annuaire pour l'année 1906 (in-18, 175 × 115 de 138 p.) Paris, Philippe Renouard, 1906. 44451

Societé internationale des Électriciens. Annuaire pour 1906. Supplément au Bulletin mensuel n° 55 (2e série) Mai 1906 (in-8°, 270 × 180 de 120 p.) Paris, Gauthier-Villars, 1906. 44445

Métallurgie et Mines.

Vogel (O.). — *Jahrbuch für das Eisenhüttenwesen* (Ergänzung zu « Stahl und Eisen ») Ein Bericht über die Fortschritte auf allen Gebieten des Eisenhüttenwesens im Jahre 1903. Im Auftrage des Vereins deutscher Eisenhüttenleute bearbeitet von Otto Vogel. *IV Jahrgang* (in-8°, 245 × 160 de XVI-464 p.) Dusseldorf, A. Bagel, 1906. 44427

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Bresson (H.). Nansouty (Max de). — *La houille verte*, par Henri Bresson. Préface de M. Max de Nansouty (Mise en valeur des moyennes et des basses chutes d'eau en France) (in-8°, 250 × 165 de XXII-278 p. avec 126 fig. et 1 pl.) Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44447

Coëne (J. de). — *La Seine maritime au point de vue du commerce et de la défense nationale*, par J. de Coëne (Société industrielle de Rouen. 32e année. Extrait du Bulletin n° 3) (Mai, Juin 1904) (in-8°, 260 × 180 de 7 p. avec 1 carte.) Rouen, J. Girieud et Cie, 1904. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44428

Le quatrième Congrès du Sud-Ouest navigable, tenu à Béziers les 24, 25, 26 et 27 novembre 1905. Compte rendu des travaux. Actes et résolutions du Congrès (in-8°, 255 × 165 de 471 p.) Toulouse, Édouard Privat, 1906. (Don de M. V. Boilève, M. de la S.) 44454

Memoria que manifiesta el Estado y Progreso de las Obras de Mejora de la Ria y Puerto de Bilbao y cuenta de Ingresos y Gastos durante el año de 1905. Seguida de un Apéndice descriptivo de todas las Obras ejecutadas por la Junta, (Junta de Obras del Puerto de Bilbao) (in-4°, 270 × 200 de 65-XX-14 p. avec pl.) Bilbao, Ezequiel Rodriguez é Hijos, 1906. 44457

Sciences mathématiques.

ARAGON (E.). — *Résistance des matériaux appliquee aux constructions. Méthodes pratiques par le calcul et la statique graphique. Tome deuxième*, par Ernest Aragon (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics) (in-16, 190 × 120 de VIII-752 p. avec 757 fig.) Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906. (Don des éditeurs.) 44453

Technologie générale.

GUIARD (E.-L.-A.). — *Cours theorique et pratique de dessin industriel.* Supplément aux Éléments et Organes de Machines, à l'usage des Candidats aux Écoles nationales d'Arts et Métiers, conforme aux dernières Instructions ministérielles du 6 janvier 1906. (Enseignement technique E.-L.-A. Guiard) (in-8°, 230 × 160 de 50 p. avec 15 pl.) Paris, Édouard Cornély. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44434

Rapports du Jury international. Introduction générale. Tome IV. Cinquième partie. Agriculture. Horticulture. Aliments. Première section (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900 à Paris) (in-8°, 295 × 195 de 751 p.) Paris, Imprimerie nationale, 1905. (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition Universelle de 1900.) 44440

Society of Engineers. Transactions for 1905 and General Index 1857 to 1905 (in-8°, 225 × 140 de 277 p. avec pl.) London, E. and F.-N. Spon, 1906.

Travaux publics.

Annales des Ponts et Chaussées, 1re Partie. Mémoires et documents. 76e année. 8e série. Tome XXI. 1906, 1er trimestre (in-8°, 255 × 165 de 336 p. avec 8 pl.) Paris, E. Bernard. 44426

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de juin 1906 sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

D. Dutard, présenté par MM. Cornet y Mas, L.-A. David, Serrat y Bonastre.
M. Margoulis, — Brueder, Journolleau, de Monicourt.
E.-H. Raybaud, — Barré, Hédin, Le Naour.
J.-M. Sanguineti, — Camuset, Philippe, Wiart.

Comme Membre Associé, M. :

L.-A.-N. Destrost, présenté par MM. Drouin, Gourgoulin, Pauly.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUIN 1906

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 1er JUIN 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de :

M. Auguste Bazin, ancien élève de l'École Polytechnique (1864), Membre de la Société depuis 1878; a été Directeur des Établissements hydrauliques de Bellegarde, Ingénieur civil.

M. le Président adresse à la famille de ce Collègue les sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

Chevalier de la Légion d'Honneur : M. Joseph de Lipkowski;

Officiers d'Académie : MM. Henri Chabal, Eugène Chaudoir.

M. G. Canet a été nommé Grand Officier du Mérite Naval d'Espagne avec plaque en or.

M. A. Pellerin a reçu de Sa Majesté le Roi de Grèce la croix de Chevalier de l'Ordre Royal du Sauveur.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que la Corporation des Agents de Change du Caire met au concours le projet de construction d'un immeuble destiné à la Bourse Khédiviale dans cette ville.

La ville de Bône ouvre également un concours pour la construction d'un Collège de jeunes filles.

Les renseignements relatifs à ces concours sont déposés à la Bibliothèque de la Société.

La Société industrielle du Nord de la France a communiqué la liste des sujets mis aux concours pour 1906, ainsi que celle des Prix et Médailles qu'elle doit décerner en 1907.

Ces documents sont déposés à la Bibliothèque.

M. H. Favrel a la parole pour le *Compte rendu du Congrès de la prévention du feu dans les bâtiments.*

M. H. Favrel rappelle que ce premier Congrès national a été organisé par le Comité technique contre l'Incendie (C. T. I.), fondé en 1903 par M. F. Michotte, Ingénieur E. C. P., et a tenu ses séances du 1er au 5 mars, à Paris, au Musée social. Le 4 mars, une visite a été organisée à l'Exposition de la Prévention des Incendies, 14, rue Saint-Georges. Vingt-neuf communications ont été présentées ; elles ont été réparties en cinq sections :

1° Matériaux de construction ; leur résistance au feu ;

2° Appareils d'éclairage et de chauffage ; leurs dangers ; leur innocuité ;

3° Appareils et dispositifs de secours à employer dans les bâtiments pour combattre le feu ;

4° Théâtres et édifices publics : magasins, maisons d'habitation, dispositifs de sécurité et de sauvetage ;

5° Législation relative aux mesures à prendre contre l'incendie.

La séance d'ouverture a été présidée par M. Lépine, Préfet de police. M. le Ministre de la Guerre s'était fait représenter par M. le commandant Cordier, des Sapeurs-Pompiers de Paris, et les Sociétés d'Architectes avaient délégué plusieurs membres.

M. Lépine a reconnu que, si l'organisation du corps des Sapeurs-Pompiers conjointement avec l'installation des nombreux avertisseurs publics avait déjà réduit dans la proportion de 6,94 à 2,50 0/0 le nombre des sinistres dans la dernière période décennale, ce nombre encore trop élevé pouvait être beaucoup réduit par la prévention bien étudiée et appliquée d'une manière efficace et économique. Il a montré l'importance qu'il y aurait de faire connaître les matériaux résistant au feu ainsi que les bons dispositifs à employer ; il a reconnu le danger des fers apparents et les avantages du béton armé. Parlant ensuite des édifices publics, il s'est étendu sur les grands magasins qu'il désirerait voir réglementés et soumis à la loi.

M. Michotte, Président du Congrès, a rappelé le but du Comité : vulgariser la science de l'Incendie peu connue en France, et développée à l'étranger, surtout dans sa branche : Prévoyance et Défense, et a fait appel à toutes les collaborations des techniciens et des praticiens en cette matière.

Les travaux des sections se sont poursuivis les jours suivants et M. Favrel, Secrétaire général, a, dans son rapport général, soumis au vote du Congrès, dans la séance de clôture, les décisions et vœux rédigés par les sections au cours des communications.

En résumé, le Congrès reconnaît les qualités de résistance au feu du ciment armé, des revêtements protecteurs en plâtre, du verre armé, du fibro-ciment ; les avantages du bec renversé, des avertisseurs et extincteurs *automatiques*.

Il désire : la substitution des fourneaux portatifs à acétylène aux dangereux systèmes à essence ou à alcool, la suppression des moulures en bois pour électricité, la pose de flèches indicatrices au coin des rues donnant la direction de l'avertisseur le plus proche, le dépôt permanent chez les concierges des plans des sous-sols, le dégagement des places supérieures dans les théâtres *actuels* et l'application effectives des moyens de prévention, de défense et de sauvetage dans les théâtres *à construire*, l'installation dans les immeubles de colonnes montantes d'eau d'un diamètre suffisant, de robinets de secours, de tuyaux permettant d'assurer un secours immédiat pour chaque locataire, l'établissement de murs séparatifs pleins et résistant au feu, la suppression des portes en fer et leur remplacement par des systèmes blindés ne se gondolant pas au feu, l'installation de deux escaliers distincts, indépendants et de mains courantes le long des chéneaux résistants dans les maisons, l'accès facile des toits et balcons pour le sauvetage, la vulgarisation par tous les moyens possibles des notions pratiques de la science du feu, etc.

Le Congrès préconise les moyens simples et économiques de secours : pompe à main, seaux d'eau, éponges, siphons, fauberts, etc., préférables aux appareils souvent coûteux et peu efficaces comme les grenades et les petits extincteurs.

M. Favrel, par des projections de vues d'incendies, démontre le bien fondé des décisions prises par le Congrès. Il termine en annonçant qu'un nouveau Congrès aura lieu en 1907 et qu'un laboratoire d'expériences publiques va être créé de suite à Arcueil-Cachan.

M. P. Regnard ne peut laisser passer sans protester ce qui vient d'être dit au sujet des extincteurs d'incendie. Il ne défend pas les grenades ni les petits extincteurs, mais il connaît de nombreux cas où des extincteurs de 25 et 40 litres ont rendu des services considérables, et il estime que le Congrès a fait fausse route en déconseillant l'emploi de ces appareils. M. Regnard croit que les critiques adressées aux extincteurs, qu'on qualifie de chimiques, tient en grande partie à ce qu'on employait dans les extincteurs primitifs, connus il y a plus de vingt ans sous le nom de matafuegos, avec du bicarbonate de soude, de l'acide sulfurique, qui a pu causer des accidents regrettables. Un grand progrès a été réalisé par la substitution de l'acide tartrique à l'acide sulfurique. L'appareil est inoffensif, toujours prêt ; quatre ou cinq secondes suffisent pour l'amener à la pression de 5 ou 6 kg, même lorqu'il est chargé depuis plusieurs années ; et M. Regnard tient pour certain qu'à l'incendie de l'Opéra-Comique, à celui du Bazar de la Charité, pour ne citer que ceux-là, un ou deux de ces appareils eussent suffi à conjurer le sinistre.

Si on a pu oublier les services inappréciables rendus par des extincteurs de 25 à 40 litres, bien entretenus, c'est qu'un incendie étouffé dès sa naissance reste ignoré.

M. Favrel dit que le Congrès a surtout combattu les petits extincteurs. Il demande pour quelle raison un extincteur chimique peut être supérieur à une petite pompe à main ou à quelques seaux d'eau.

M. Regnard répond qu'un extincteur de 40 et même de 25 litres est à une petite pompe à main ce qu'une pompe à vapeur est à une pompe

à bras. La pression de 5 à 6 kg, créée instantanément dans l'extincteur, projette un liquide saturé de tartrate de soude et d'acide carbonique qui, comme des expériences très sérieuses et complètes l'ont montré, a un pouvoir extincteur huit fois plus grand que celui d'un égal volume d'eau.

M. Favrel ne croit pas du tout à l'efficacité des quelques litres d'acide carbonique que l'extincteur déverse dans un foyer. Il dit combien sont peu concluantes les expériences comparatives faites avec un extincteur et des appareils beaucoup plus simples. L'extincteur chimique de grande capacité agit surtout par la quantité de liquide sous pression qu'il renferme, mais il ne peut être essayé à l'avance. M. Favrel rappelle que le Congrès, d'accord avec les Pompiers de Paris, a surtout tenu à combattre les grenades et les *petits* extincteurs dont l'emploi n'a, le plus souvent, pour résultat que de retarder l'appel des véritables secours.

M. le Président remercie M. Favrel de son intéressant compte rendu.

M. F. Brocq a la parole pour sa communication sur les *Compteurs en général et plus spécialement sur les Compteurs électriques.*

Le but commun à tous les compteurs en général d'indiquer le montant des sommes à percevoir par les Compagnies ou Administrations distributrices d'eau, de gaz ou d'électricité, n'a été atteint que difficilement après de longues études et après des obstacles sans nombre.

Ces difficultés qui pourraient paraître exagérées, exprimées par le constructeur de compteurs, auteur de cette communication, sont confirmées par M. Gerhardi, Ingénieur d'un grand Secteur de Londres, dans son étude sur les compteurs d'électricité (*The Electrician* 1905-1906).

Elles eussent été moindres si dès l'origine on avait adopté la forme logique *d'abonnement avec minimum*, correspondant aux charges fixes de la distribution.

M. Brocq montre ensuite par divers exemples la quasi-nécessité de l'emploi du compteur pour tous les genres de distribution ; passant ensuite aux compteurs d'électricité, il fait remarquer que la complication du problème s'accroît encore par le fait de l'augmentation du nombre des unités employées et des propriétés nombreuses de l'électricité qui toutes fournissent des moyens de mesure.

Les inventeurs se sont exercés sur la question et, depuis 1885, en Allemagne, Angleterre, États-Unis et France seulement, plus de 2000 brevets ont été pris.

M. Brocq fait projeter quelques clichés des appareils précurseurs, peu ou plus employés maintenant, et rappelle succinctement les principes sur lesquels ils sont basés.

Suit une énumération rapide, avec projections, des principaux appareils actuellement en service.

Étudiant ensuite la courbe de production journalière des Secteurs, M. Brocq rappelle la nécessité d'en remonter l'ordonnée moyenne par rapport à l'ordonnée maxima et passe en revue les moyens employés : tarif avec emploi des *Indicateurs de maximum, tarifs multiples, doubles tarifs.*

Enfin, dans un autre ordre d'idées, il indique l'emploi des *compteurs à prépaiement* et des *compteurs à dépassement*.

Les personnes que la question intéresse et qui désireraient des renseignements plus circonstanciés les trouveront dans les travaux de MM. Coustet, Gerhardi, Kœnigswerther, Solomon et Zacharias, auxquels ont été empruntés une partie des renseignements fournis par M. Brocq.

M. le Président appuie les considérations générales développées par M. Brocq concernant l'importance du rôle du compteur dans les distributions de toute nature. Le tarif à forfait conduit à la pratique du robinet ouvert et par conséquent à une exploitation désastreuse.

Les distributions d'énergie électrique n'auraient pu se développer sans les compteurs; les entreprises de distribution de puissance motrice par transmissions mécaniques ont végété ou échoué par suite de l'absence de compteur pratique de travail. Quelques entreprises de distributions électriques exploitant des chutes d'eau et pratiquant encore la vente à forfait étudient le moyen de prévenir les demandes d'énergie supérieures au maximum fixé dans les contrats : elles s'acheminent vers la vente au compteur.

Comme l'a dit M. Brocq, le nombre de types et de calibres des compteurs électriques conduit à une diversité considérable, qui n'a d'égale que celle des machines électriques : compteurs pour courant continu à deux, trois ou cinq fils, compteurs pour courants alternatifs à simple phase, diphasés ou triphasés de toute tension et toute intensité.

L'exactitude de ces compteurs, qui sont des wattmètres totalisateurs, est très satisfaisante entre des limites de puissance très étendues, malgré la complexité apparente des intégrations.

Au point de vue historique, on a un repère facile de l'époque à laquelle les compteurs électriques sont entrés dans la pratique courante : les traités des Secteurs électriques avec la Ville de Paris, qui pour l'ensemble, datent de 1888, et leurs premières polices d'abonnement semblent témoigner d'une confiance relative dans l'emploi des compteurs : le tarif à forfait y était mentionné.

M. le Président est heureux de remercier de sa communication M. Brocq, qui a été l'un des premiers metteurs en œuvre de la fabrication, aujourd'hui si remarquable, des compteurs électriques.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. M. Margoulis et E.-H. Raybaud, comme Membres Sociétaires titulaires, et de

M. L.-A.-N. Destrost, comme Membre Associé.

MM. D. Dutard et J.-M. Sanguineti sont admis comme Membres Sociétaires titulaires.

La séance est levée à 11 heures un quart.

L'un des Secrétaires techniques,

P. Schuhler.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 15 JUIN 1906

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

R. Bischoffsheim, ancien élève de l'École Centrale (1842), membre de la Société depuis 1876, membre de l'Institut, député, chevalier de la Légion d'honneur ; a contribué à la création de l'Observatoire du Pic du Midi, a créé l'Observatoire de Nice et fait les frais d'établissement du Grand Equatorial de l'Observatoire de Paris.

Ch. H. G. Bontemps, Membre de la Société depuis 1867 ; a été contrôleur des travaux extérieurs aux Chemins de fer P.-L.-M., Ingénieur Civil ;

A. H. Bricard, Membre de la Société depuis 1891, Chevalier de la Légion d'honneur ; Manufacturier, Membre de la Chambre de Commerce ;

Th. J. de Joly, Ancien Élève de l'École Centrale (1849), Membre de la Société depuis 1850, Président de la Compagnie Générale des Chemins de fer brésiliens, Administrateur de la Société de travaux Dyle et Bacalan ;

Léon, Léonard Perreau, Ancien Élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons (1848), Membre de la Société depuis 1889, Ancien Ingénieur-Directeur d'usines.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues les sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

M. Alexis Sauvaget a été nommé Officier d'Académie ;

M. G. Reynaud a été nommé Chevalier de l'ordre de Léopold.

M. G. Canet vient d'être nommé Membre d'une Commission, instituée au Ministère de la Guerre et chargée d'étudier les questions d'approvisionnements en poudres et explosifs de guerre.

M. Le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le Comité a décidé, ainsi qu'il l'avait déjà fait les années précédentes, la suppression de la séance du 20 juillet.

M. Le Président rappelle que les noms des Lauréats des *Prix Annuel, Nozo, Gottschalk*, Prix que la Société a à décerner cette année, doivent être proclamés dans la séance de ce soir.

Le *Prix Annuel* a été décerné *ex-æquo* :

A M. H. Julliot pour ses travaux sur la Navigation aérienne et plus spécialement pour son mémoire sur *le Dirigeable « Le Lebaudy »*, paru dans le Bulletin de Mai 1905;

A M. G. Marié pour ses travaux sur *les Oscillations du matériel de chemins de fer à l'entrée en courbe et à la sortie* et plus particulièrement pour le mémoire, traitant de cette question, paru dans le Bulletin de Novembre 1905.

Le *Prix Nozo* a été décerné à M. L. Guillet pour l'ensemble de ses travaux sur la Métallographie et plus spécialement pour son mémoire sur *la Métallographie microscopique et son utilisation comme méthode d'essai*, paru dans le Bulletin de Juillet 1905.

Le *Prix Gottschalk* a été décerné à M. G. Hart pour ses études et travaux sur les perfectionnements apportés à la navigation maritime et plus spécialement pour son mémoire sur *l'Application des Turbines à la Navigation*, paru en Juin 1904.

M. le Président est heureux d'adresser aux Lauréats les félicitations de la Société.

Il ne croit pas nécessaire de rappeler ici leurs travaux qui tous sont bien connus des Membres de la Société.

Chacun d'eux a acquis, dans la spécialité à laquelle il s'est consacré, une autorité et une situation prépondérantes, que les Jurys ont été heureux de reconnaître, une fois de plus, par l'attribution des Prix qui viennent de leur être remis. *(Applaudissements.)*

M. E. Favier a la parole pour sa communication sur *les Essais mécaniques et analyse du papier. — Leur but. — Leurs conséquences.*

M. Favier montre tout d'abord l'intérêt que présente l'analyse du papier.

L'usage de plus en plus répandu du papier et, par suite, sa grande production ont contraint les fabricants à chercher de nouvelles matières premières pour remplacer les chiffons exclusivement employés jusque vers l'année 1865. Actuellement, le papier est composé de matières fibreuses végétales les plus diverses, et dont les principales sont les vieux papiers, le coton, le lin, le chanvre, les chiffons, les celluloses du bois, la pâte mécanique de bois, c'est-à-dire le bois râpé, les celluloses chimiquement préparées de bois, de sparte, d'alfa, de jute, de ramie, de chanvre, etc. Ces diverses substances fibreuses se trouvent mélangées dans le papier, avec des proportions plus ou moins grandes de matières minérales, telles que le sulfate de chaux, le sulfate de baryte, le kaolin, le talc, etc. Plusieurs de ces matières, et notamment la pâte mécanique de bois, se modifient en peu de temps sous l'action de l'air et de la lumière. Les substances minérales, introduites en excès dans le papier, ont pour effet de porter atteinte à sa solidité. L'expérience, en outre, montre que certaines pâtes de fibres, amenées d'un état primitif grossier

et fortement coloré à une blancheur très pure par des lessivages et des blanchiments très énergiques, sont susceptibles, au bout d'un certain temps, de brunir et de perdre toute leur solidité primitive. Donc, si le papier devient un produit de plus en plus complexe, il est nécessaire de reconnaître les éléments qui le composent, pour pouvoir apprécier, suivant les usages auxquels ils se trouve destiné, ses qualités de résistance, et surtout ses qualités de durée.

De plus, le papier étant souvent destiné à des usages spéciaux, chaque industriel, tributaire du papier, a besoin d'un produit spécialement préparé pour son industrie ; et si habile qu'il soit devenu par l'usage, il lui est extrêment difficile d'affirmer, *a priori*, si son papier convient ou non à un emploi déterminé.

L'analyse du papier a donc pour but, non seulement de rechercher ses qualités physiques et mécaniques, mais encore de fournir au consommateur, au transformateur, les moyens de formuler scientifiquement les qualités spéciales que doivent présenter les papiers destinés à leur industrie.

M. Favier rappelle ensuite les origines de l'analyse du papier. C'est en 1883, à la suite d'articles publiés par Reuleaux et Karl Hoffmann, que fut créé à Charlottenbourg, près Berlin, le premier laboratoire destiné aux essais chimiques et mécaniques du papier. En France, en 1893, M. G. Marteau, membre de la Société, attira l'attention sur cette question ; M. Favier installa, cette même année, un laboratoire privé, et l'année suivante il fut chargé d'organiser le laboratoire de la Chambre de Commerce de Paris. Certaines grandes Administrations telles que la Banque de France, les Postes et Télégraphes, l'Imprimerie Nationale, possèdent des laboratoires spécialement affectés à l'analyse des papiers qui leur sont fournis par adjudication.

M. Favier passe rapidement en revue les essais d'ordre mécanique, physique et chimique que l'on fait subir aux papiers :

L'essai de résistance à la traction se fait avec des dynamomètres et en particulier avec le dynamomètre de Schoffer, dont la description est donnée. Connaissant la charge de rupture et le poids moyen de la bande essayée, on détermine ce qu'on appelle la *longueur de rupture d'un papier*.

L'essai de résistance au froissement, qui est beaucoup plus important que le précédent, se fait avec les appareils de Pfull et de Schoffer, qui sont successivement décrits.

M. Persoz, directeur du laboratoire de la Chambre de Commerce, mesure, au moyen d'un appareil qu'il a imaginé, l'effort qu'il faut produire sur un centimètre carré de papier pour le perforer.

L'évaluation de la teneur en matières minérales s'effectue par une simple incinération ; mais il est souvent nécessaire de faire l'analyse complète de ces matières minérales ainsi que des matières organiques autres que les matières cellulosiques.

L'examen physique se fait avec le microscope ; il permet de déterminer la nature des fibres constituant le papier et il sert au fabricant de guide pour produire un papier déterminé. (De nombreuses projections montrent la composition physique de divers papiers.)

M. Favier termine en signalant deux autres essais intéressants :

d'abord la mesure du collage des papiers et ensuite la mesure du pouvoir absorbant des papiers buvards pour laquelle il a établi un appareil dont il donne la description.

M. LE PRÉSIDENT, en remerciant M. Favier de sa communication, signale qu'il y a lieu de se préoccuper d'une autre catégorie d'essais et qui concernent le papier destiné aux constructions électriques, machines et câbles.

Employé dès l'origine de ces constructions, soit à l'état naturel soit imprégné, le papier a été tour à tour rejeté, puis employé de nouveau. En fait, il peut rendre les plus grands services, en raison de la rigidité diélectrique élevée qu'on peut en obtenir; la fabrication des câbles souterrains à haute tension, exclusivement isolés au papier, en donne un exemple.

M. FAVIER répond qu'il s'est préoccupé des essais du papier destiné aux usages électriques et ajoute que des usines en France fabriquent le papier de chanvre de Manille qu'on coupe en ruban pour la fabrication des câbles.

M. A. HOLLARD a la parole pour sa Communication sur *les Analyses électrolytiques.*

M. A. HOLLARD dit que l'Analyse électrolytique doit être étudiée, non pas dans le but d'en faire une science à part qui se suffise à elle-même, mais avec l'intention d'arriver à des procédés précis et simples là où l'analyse pondérale ou volumétrique laissent à désirer. C'est le programme que M. Hollard a toujours suivi.

Pour arriver à des résultats pratiques il faut savoir *orienter* ses recherches au moyen de principes qui se préciseront à mesure que les découvertes se succéderont : on constituera ainsi une théorie capable d'interpréter les phénomènes acquis et susceptible de faire prévoir de nouveaux résultats.

A l'aide de cette théorie, M. Hollard indique le rôle que doivent jouer l'intensité et la densité du courant, ainsi que la tension électrique. Puis il indique les principes qui le dirigent dans la séparation des métaux les uns d'avec les autres.

Un premier procédé de séparation des métaux est basé sur leurs propriétés de pouvoir ou de ne pas pouvoir se déposer en solution fortement acide.

Un deuxième procédé de séparation est basé sur la propriété qu'ont certains métaux de ne plus pouvoir se déposer électrolytiquement lorsqu'ils sont engagés dans des sels *complexes*; ces métaux restent alors seuls dans le bain.

Le dégagement aux électrodes des gaz hydrogène et oxygène entrave un grand nombre de séparations. Ce dégagement a pu être évité par un certain nombre de procédés :

1° Emploi de cathodes recouvertes d'étain, de cadmium ou de plomb. Application : séparation du cadmium et du zinc;

2° Addition au bain d'acide sulfureux qui s'oxyde aux dépens de l'oxygène et empêche ainsi l'oxygène de se dégager;

3° Emploi d'anodes solubles. Applications : séparation de l'argent d'avec le cuivre, du nickel d'avec le zinc ;

Enfin un certain nombre de métaux, et beaucoup plus qu'on ne le croit, peuvent se déposer sur l'anode à l'état de peroxydes et superoxydes. De là un procédé commode de séparation.

M. Hollard termine en disant qu'il est arrivé à pouvoir déposer sur les électrodes, dans un grand nombre de cas, des quantités illimitées de métal. C'est là une ressource très précieuse lorsqu'il s'agit de séparer ce métal d'avec des éléments (impuretés ou corps ajoutés intentionnellement) qui s'y trouvent noyés en proportions minimes, car après l'électrolyse, ces éléments restent seuls dans le bain et peuvent correspondre à une quantité de métal aussi grande qu'on le désire, conditions très favorables à la simplicité et à la précision du dosage de ces éléments.

M. L. Guillet fait observer que de cette communication on peut conclure que l'analyse électrolytique est devenue une méthode analytique pratiquement industrielle. En effet, elle permet le dosage de la plupart des métaux à moins de 0,1 0/0 près, elle est facile à mettre en jeu, puisque, actuellement, grâce aux méthodes et appareils Hollard, on arrive dans les laboratoires à faire faire des dosages électrolytiques par de simples manœuvres; enfin, point très important en industrie, elle est d'un prix de revient très faible. L'analyse électrolytique est donc bien une méthode industrielle et c'est aux recherches de M. Hollard qu'on le doit.

Cette méthode est-elle perfectible ? M. Guillet a fait essayer la méthode des cathodes rotatives employées en Allemagne et en Amérique : d'après lui ces méthodes présentent des avantages par rapport aux anciennes méthodes, mais non par rapport à celles de M. Hollard. M. Guillet signale qu'il a été décrit, il y a quelques jours, une méthode intéressante consistant à électrolyser directement les chlorures en présence d'un hydrocarbure qui absorbe au fur et à mesure le chlore. Ceci évite de transformer les chlorures en sulfate, le chlore n'attaquant plus les électrodes.

M. A. Hollard ne peut pas se prononcer sur la valeur de cette méthode; il craint que l'emploi des hydro-carbures ne donne lieu à des dépôts de carbone combiné.

M. le Président s'associe à l'éloge de M. Hollard qui vient d'être fait par M. Guillet; il remercie M. Hollard d'avoir présenté à la Société des Ingénieurs Civils l'état actuel de l'analyse électrolytique.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. P. Chaffin, P. Dor, C. Féra, A.-J. Leclerc comme Sociétaires Titulaires.

MM. M. Margoulis et E. R. Raybaud sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et :

M. L.-A.-N. Destrost, comme Associé.

La séance est levée à 11 heures.

L'un des Secrétaires techniques.

P. Schuhler.

CHEMINS DE FER DE MONTAGNES

TRACTION

SUR CRÉMAILLÈRE OU PAR ADHÉRENCE

ÉTUDE COMPARATIVE

PAR

M. A. MALLET

Notre collègue, M. Lévy-Lambert, a publié, dans le Bulletin de mars 1906, une intéressante étude sur les Chemins de fer à crémaillère, étude où il traite, avec les développements qu'elle comporte, l'importante question des chemins de fer mixtes formés de sections à adhérence et de sections à crémaillère, sur lesquelles la traction se fait sans interruption au moyen de locomotives disposées spécialement à cet effet. En traitant ce sujet, l'auteur s'est trouvé naturellement amené à signaler le point du choix à faire dans ce cas, le seul, dit-il avec raison, où il puisse y avoir hésitation, entre la crémaillère partielle et l'adhérence sur tout le parcours. Sans entrer plus avant dans l'examen de la question, il se borne à conclure qu'on ne peut rien dire de général à cet égard et qu'une étude détaillée et comparative s'impose dans chaque cas. Il cite à titre d'exemple le cas du chemin de fer de Viège à Zermatt, où les deux solutions ont été examinées et où le choix s'est porté sur le système mixte.

Tout en partageant en principe l'opinion de M. Lévy-Lambert sur l'impossibilité d'émettre des règles générales sur ce sujet, il nous a semblé qu'il y avait quelque chose à dire de plus et qu'il était intéressant de fournir, à propos du choix à faire d'un système, des renseignements basés sur une expérience prolongée. C'est le but de la présente note.

Le problème de l'établissement d'un chemin de fer se pose à deux points de vue : la construction et l'exploitation.

Nous passerons très rapidement sur la première.

Dans la question des chemins de fer en pays de montagnes, il s'agit de relier deux points situés à des altitudes différentes, que le point supérieur soit le terminus de la ligne, ce qui est le cas le plus simple, ou soit l'entrée du tunnel qui franchit le col d'une chaîne séparant deux vallées. Si la pente naturelle moyenne du terrain est supérieure à la déclivité maxima admise pour le chemin de fer, ce qui arrive le plus souvent, on est conduit à allonger le tracé par des lacets ou par des développements dans des vallées secondaires ou, au besoin, on a recours à des artifices tels que des tunnels en hélice pratiqués dans les flancs de la vallée, comme au Gothard et ailleurs. Si la nature de la ligne à établir permet l'introduction de déclivités se rapprochant sensiblement de la pente du thalweg de la vallée à parcourir, on peut suivre le terrain au moyen d'une inclinaison continue assez forte ou introduire une combinaison de fortes et de faibles pentes, de même qu'on rachète la déclivité excessive d'un cours d'eau navigable par l'établissement de biefs éclusés, les fortes pentes du chemin de fer pouvant dans ce cas être franchies au moyen de l'adhérence artificielle sous forme de crémaillère. On conçoit que dans le choix à faire de ces deux systèmes la disposition du terrain joue le plus grand rôle, parce qu'il est nécessaire de suivre autant que possible la surface du sol, afin d'éviter des mouvements importants de terre pour l'établissement de la plate-forme, c'est pour cela qu'une étude est nécessaire pour chaque cas et qu'aucune règle générale ne saurait être formulée en ce qui concerne la construction.

L'exploitation est une autre question. Le problème à résoudre se pose sous cette forme : Une étude sérieuse ayant indiqué que les frais d'établissement d'une ligne dans les deux systèmes, mixte et à adhérence, sont les mêmes ou peu différents, les dépenses comparatives d'exploitation feront-elles pencher la balance en faveur de l'un ou l'autre des deux modes de traction?

Pour fixer les idées, nous allons revenir avec quelques détails sur le sujet du chemin de fer de Viège-Zermatt, simplement mentionné page 559 du mémoire de M. Lévy-Lambert.

Notre regretté collègue J. Meyer, alors Ingénieur en chef de la la construction du chemin de fer Suisse-Occidentale-Simplon, a précisé les conditions dans lesquelles a été adopté l'emploi de la crémaillère pour la ligne Viège-Zermatt dans un très intéressant article paru dans la *Revue Générale des Chemins de fer* d'août 1890.

Il expose que, sur les levés topographiques exécutés dans la

vallée de la Viège, on a en premier lieu étudié un tracé à adhérence continue avec un maximum de rampes de 45 0/00 et un minimum de rayon de courbure de 60 m. Il s'agissait d'une voie de 1 m. Ce tracé avait une longueur de 35 885 m, dont 8 768, soit 18,8 0/0 en palier et 29 116 ou 81,2 0/0 en rampes, réparties comme suit pour les plus fortes :

3	de 15	2 000 m	6	de 30	2 464 m
1	18	200	1	37	628
2	20	1 050	1	40	393
3	25	1 270	10	45	16 088

On voit qu'il y avait 4 825 m en déclivités inférieures à 15 0/00. Sur ce tracé, 65 0/0 étaient en alignement droit et 35 0/0 en courbes dont le rayon minimum descendait à 60 m, comme il a été indiqué déjà. Ce projet était estimé à 5 800 000 f.

On avait, en outre, étudié divers tracés avec emploi de la crémaillère pour rampes allant jusqu'à 100 0/00 et dont le plus avantageux donnait une économie finale de 250 000 f sur le tracé à adhérence.

Vers la fin de 1888, MM. Chappuis et de Stockalper présentèrent une modification, consistant à faire un usage plus étendu de la crémaillère, dont ils portaient la déclivité jusqu'à 120 0/00 ; l'économie sur le tracé à adhérence devait aller ainsi jusqu'à 500 000 f. Ce projet fut adopté avec un maximum de déclivité allant jusqu'à 125 0/00.

Une commission dans laquelle figuraient MM. Rodieux, Ingénieur en chef de la traction du chemin de fer de la Suisse-Occidentale et du Simplon, et Haueter, Ingénieur de la traction du chemin de fer Nord-Est-Suisse, fut chargée d'examiner divers chemins de fer à traction mixte en Allemagne et en Suisse. Elle estima que l'augmentation des dépenses de traction par rapport à l'exploitation par adhérence ne dépasserait pas 0,20 f par kilomètre-train, soit un total de 7 000 f par an pour 35 000 km ; il faudrait y ajouter 200 f par an et par kilomètre de crémaillère, pour l'entretien et le graissage de celle-ci, soit pour 6,8 km 1 360 f soit, en tout, 8 360 f d'augmentation dans les frais annuels d'exploitation, en regard d'une économie de 500 000 f sur le capital d'établissement.

La ligne de Viège-Zermatt a été construite sur ces données ; la longueur de la crémaillère a été portée à 7 450 m pour des raisons qu'on trouvera exposées dans le mémoire de Meyer. Le

rayon minimum de courbure est de 80 m, les déclivités sont au plus de 25 0/00 sur les parties à adhérence et de 125 0/00 en crémaillère, cette dernière déclivité n'existe que sur 575,60 m. La ligne a été ouverte à l'exploitation en 1891 et a toujours fonctionné depuis avec un succès technique et financier complet. On sait que la crémaillère est du système Abt et les locomotives ont été établies sur les dispositions étudiées par notre distingué collègue.

Nous ignorons si les chiffres que la commission avait indiqué pour les frais de traction étaient basés sur la comparaison avec les chiffres correspondants obtenus sur des lignes à adhérence à déclivités considérables ou avec les résultats généraux de l'exploitation des chemins de fer. Il existait déjà à cette époque, en dehors de lignes provisoires ou industrielles, quelques chemins de fer établis avec des rampes de 45 0/00 et plus et fonctionnant d'une manière parfaitement régulière. Nous citerons en tête le chemin de fer d'Enghien à Montmorency, dû à l'initiative de notre regretté collègue Émile Level, puis ceux de l'Utliberg, de Waedensweil à Einsiedeln et du Rigi-Scheidegg, en Suisse, pour ne parler que des plus connus, tous exploités toute l'année, à l'exception du dernier, dont l'altitude très forte ne s'y prête pas plus que son genre de trafic.

Nous donnons, dans le tableau ci-dessous, les éléments du tracé de ces quatre lignes.

TABLEAU I.

Lignes	ENGHIEN-MONTMORENCY	UTLIBERG	WAEDENSWEIL-EINSIEDEN	RIGI-SCHEIDEGG
Année d'ouverture	1869	1879	1877	1874-75
Altitude inférieure	47,24	417,03	411,27	1 441
— supérieure	113,84	816,03	884,20	1 607
Différence de niveau	66,60	399	472,93	166
Longueur du tracé	3 020	9 130	16 629	6 619
Déclivité moyenne	22 0/00	43,7 0/00	28,5	25,1
— maxima	46,3	70	50	50
Proportion supérieure à 30 0/00	35,6 0/0	67,7 0/0	»	45 0/0
Rayon minimum des courbes	250	135	150	105
Écartement	normal	normal	normal	1 m

Il est très possible que, malgré l'existence des lignes dont nous venons de parler, il y eut encore en 1888 une certaine prévention contre l'emploi des fortes rampes, tout au moins au point de vue du coût de leur exploitation, et que l'établissement d'une ligne avec une notable proportion de déclivités de 45 0/00 fut considéré comme présentant des aléas qu'on ne risquait pas de rencontrer avec la crémaillère, déjà largement expérimentée alors.

A défaut de cette application, l'adhérence en trouva d'autres. La ligne de Landquart-Davos fut construite très peu après (1890) avec des rampes de 45,2.

La déclivité moyenne est de 25,4 0/00 sur 44 km, de 37,1 sur 22 km et de 40,4 sur 8 180 m; sur cette dernière partie on trouve une rampe de 4 087 m en déclivité de 40 à 45 0/00, avec de nombreuses courbes de 110 et 100 m de rayon.

Cette ligne, qui s'élève à l'altitude de 1 633 m, est exploitée toute l'année.

En 1893 fut établie une autre ligne, également à voie de 1 m, qui présente des conditions de tracé des plus intéressantes et qui, c'est un détail que nous ne saurions passer sous silence, a été étudiée par M. Chappuis, un des auteurs du tracé mixte du Viège-Zermatt. Nous voulons parler du chemin de fer d'Yverdon-Sainte-Croix, que nous prendrons comme terme de comparaison dans cette étude avec la ligne de Viège-Zermatt, avec laquelle il présente une assez grande analogie tout en s'en différenciant beaucoup sous certains rapports, que nous aurons soin d'indiquer.

Nous donnons dans le tableau ci-après les caractéristiques essentielles de ces deux lignes que, pour abréger, nous désignerons sous les initiales V.-Z. et Y.-S.-C.

La ligne d'Yverdon à Sainte-Croix présente une première section d'Yverdon à Baulmes de 11 501 m de longueur, dont la déclivité moyenne est de 17,1 0/00 seulement, la seconde section de Baulmes à Sainte-Croix, de 12 668 m de longneur, a une rampe moyenne de 34,5, qui se décompose comme suit : de Baulmes à Six-Fontaines, longueur 2 900 m, déclivité moyenne 25,5; de Six-Fontaines à Trois-Villes, 4 865 m et 41,5; de Trois-Villes à Sainte-Croix, 4 901 m et 32,5 0/00. On trouve entre Six-Fontaines et Trois-Villes une rampe continue de 3 766 m en 43,2-43,6 et 44 0/00, et entre Trois-Villes et Sainte-Croix une de 3 770 m en déclivité de 43,2 et 44,0. Avec ces rampes se ren-

contrent un grand nombre de courbes de 120 à 100 m de rayon. Il y a 61 0/0 du tracé en alignement droit et 39 en courbes, dont 20,6 0/0 de rayon inférieur à 200 m.

TABLEAU II.

	VIÈGE-ZERMATT	YVERDON-SAINTE-CROIX
Écartement de voie	1 m	1 m
Longueur exploitée	35 050 m	24 167 m
Altitude du terminus inférieur	653,50 m	437,80 m
— — supérieur	1 608,50 m	1 069,20 m
Différence de niveau	955 m	631,40 m
Déclivité moyenne	27,2 0/00	26,1 0/00
— maxima	125	44
Proportion des rampes de plus de 30 0/00.	18 0/0	47,2 0/0
Rayon minimum des courbes	80 m	100 m
Poids des rails par mètre courant	24,2 kg	24,2 kg
Nombre moyen de voyageurs par an	59 916 (1)	63 120 (1)
Tonnage moyen des marchandises	5 520 t	28 840 t
Coût total d'établissement	5 350 000 f	3 032 000 f
— par kilomètre	153 000	130 000 f
Durée d'exploitation	été seulement	toute l'année, les dimanches exceptés

(1) On a pris, pour le nombre de voyageurs et le tonnage des marchandises (bagages compris) les moyennes des chiffres correspondants aux années 1900, 1901, 1902 et 1903.

Il semble que ces deux lignes, situées dans le même pays à moins de 200 km l'une de l'autre, fonctionnant régulièrement depuis treize et quinze ans, et présentant une assez grande analogie comme profil et comme genre de trafic, offrent un intéressant champ de comparaison au point de vue de l'exploitation et peuvent fournir des renseignements très précieux pour le sujet dont nous nous occupons.

Nous nous proposons donc de faire une étude des dépenses de traction de ces deux lignes, et de rechercher quel serait sur ces dépenses l'effet de l'application, au Viège Zermatt, de la traction par adhérence sur le tracé étudié en 1888.

Nous nous baserons pour ces recherches sur les résultats contenus dans les *Statistiques des Chemins de fer suisses*, publiées tous les ans par le Département fédéral des Postes et des Che-

mins de fer. Ces statistiques sont très détaillées, on peut avoir toute confiance dans leur exactitude et, comme les résultats sont donnés sous la même forme pour toutes les lignes, on a toute garantie au sujet de la légitimité des comparaisons. Nous avons pris les années 1900, 1901, 1902 et 1903, et nous nous servirons des moyennes des chiffres de ces quatre années.

Avant d'aller plus avant, nous devons faire observer que, si les deux lignes dont nous nous occupons offrent une certaine analogie qui justifie leur mise en comparaison, elles présentent par ailleurs des différences importantes dont il est indispensable de tenir compte. Nous ne parlons pas de la dissimilitude du mode de traction, dissimilitude qui justifie précisément la comparaison que nous faisons. La plus importante différence est dans la durée de l'exploitation ; celle-ci a lieu, au Viège-Zermatt, dans les mois d'été, soit pendant cent vingt à cent quarante jours suivant la saison. A l'Yverdon-Sainte-Croix, elle a lieu toute l'année, sauf les dimanches où il n'y a aucun service.

Cette particularité, unique, croyons-nous, tout au moins en Europe, est la conséquence d'une clause introduite dans la concession à la requête du demandeur.

Les conséquences de la différence des durées d'exploitation sont diverses et de sens opposés. La concentration d'un trafic donné de voyageurs sur un petit nombre de jours conduit à un service intensif qui peut être un peu plus coûteux, mais le matériel est mieux utilisé, comme le montre le coefficient d'utilisation des places que nous verrons plus loin. L'entretien du matériel et de la voie est plus facile à faire pendant des interruptions totales de service de huit ou neuf mois que pendant le service courant. La question du personnel joue également son rôle. Mais le point le plus important est la cause d'infériorité qu'amène, pour l'Yverdon-Sainte-Croix, le service en hiver dans une région où la température s'abaisse à — 20 degrés, et où la neige est très abondante. Si on ajoute le chauffage des trains par la vapeur de la locomotive, on trouvera des raisons sérieuses d'augmentation de la dépense de combustible. Cette augmentation, si elle est réelle, n'est pas facile à chiffrer. Nous croyons devoir en tenir compte par voie de compensation. Le tracé à adhérence du V.-Z. comportait des courbes de 60 m de rayon, tandis qu'à l'Y.-S.-C., il n'y a pas de courbes de moins de 100 m de rayon. La présence de courbes de 60 m n'entraînerait, du reste, aucune difficulté pour l'exploitation avec les wagons à bogies

du V.-Z. Quant aux locomotives de l'Y.-S.-C., leur construction articulée leur permet de circuler facilement dans les courbes dont il s'agit, et même dans des courbes de rayon inférieur, puisque des machines du même modèle ont passé couramment dans les courbes de 40 m de rayon du réseau des tramways de la Côte-d'Or. Il y a certainement à tenir compte d'un léger excès de résistance à la traction et d'usure des boudins des roues à cause de ces courbes. Mais c'est peu de choses et si, faute d'éléments d'appréciation, nous compensons ce chapitre par celui de l'accroissement des dépenses de traction par suite de l'exploitation en hiver, nous croyons que c'est tout à l'avantage de la crémaillère et nous faisons toutes nos réserves à ce sujet.

Il est utile de dire ici quelques mots des locomotives employées sur les deux lignes. Nous donnons dans le tableau III leurs dimensions principales.

Tableau III.

	W.-Z.	Y.-S.-C.
Constructeurs	Winterthur	Grafenstaden
Surface de grille	1.2	1,02
— de chauffe	65,5	74
Pression à la chaudière	12	12
Cylindres à adhérence	320 × 450	(280-425) × 300
— à crémaillère	360 × 450	»
Diamètre des roues motrices	0,900	1,010
— des pignons dentés	0,688	»
Écartement des essieux parallèles	1,96	1,40
— total	4,30	4,67
Poids de la machine vide	23 500	26 800
Eau dans les caisses	2 500	3 500
Charbon dans les soutes	1 300	1 000
Poids maximum en service	29 000	34 300
— — adhérent	20 600	34 300
— moyen	27 900	31 900

Les machines du Viège-Zermatt sont à deux mécanismes entièrement indépendants. Elles sont portées sur trois essieux dont deux sont accouplés ensemble et commandés par deux cylindres extérieurs ; le troisième essieu, placé à l'arrière, est à déplacement radial. Deux cylindres intérieurs actionnent les deux pignons

dentés engrenant avec la crémaillère. Ces machines ont un frein à main agissant sur les roues, un frein à bande serrant des disques solidaires des pignons dentés, un frein à compression d'air par les cylindres des deux mécanismes et un frein à vide Smith-Hardy agissant sur la locomotive et le train.

Les locomotives de l'Yverdon-Sainte-Croix appartiennent au type compound articulé Mallet; elles sont à adhérence totale et portées sur quatre essieux.

Elles sont munies d'un frein à main agissant sur les roues, d'un frein à compression d'air par les cylindres et du frein à vide Smith-Hardy, pour le train et la machine.

Le tableau IV donne les chiffres relatifs au trafic, au poids moyen des trains et à l'utilisation des places.

TABLEAU IV.

Viège-Zermatt.					
Années.	1900	1901	1902	1903	MOYENNE
Parcours des trains	43 412	44 256	45 782	42 503	43 990
Nombre de voyageurs transportés	51 661	57 764	62 212	68 029	59 916
Tonnage des marchandises. .	4 571	5 374	6 043	6 091	5 520
Poids moyen du train total. .	58,0	59,4	59,0	58,2	58,7
— — remorqué	30,0	31,5	31,1	30,3	30,7
Charge utile	6,9	6,4	6,7	6,7	6,7
Utilisation moyenne des places	33,7 0/0	39,4 0/0	68,5 0/0	73,2 0/0	53,5 0/0
Yverdon-Sainte-Croix.					
Parcours des trains	57 836	52 972	53 867	53 891	54 640
Nombre de voyageurs transportés	64 514	61 321	61 895	64 750	63 120
Tonnage des marchandises. .	25 031	22 249	31 366	36 717	28 210
Poids moyen du train total. .	62,8	62,1	65,3	69,2	64,8
— — remorqué	30,9	30,2	33,4	37,3	32,9
Charge utile	7,6	7,5	8,8	10,6	8,6
Utilisation moyenne des places	27,2 0/0	36,4 0/0	30,4 0/0	28,7 0/0	30,6 0/0

On voit, par ce tableau, que le train moyen de l'Y.-S.-C. pèse 64,8 t, soit 6,1 t de plus que le train moyen du V.-Z. Si donc on fait, sur le tracé à adhérence du V.-Z., circuler le train de celui-ci attelé de la machine de l'Y.-S.-C. pesant 31,9 t, on aura un

train de 62,6 t, soit 2,2 t de moins que le train moyen de l'Y.-S.-C.

Le tableau V donne les dépenses de traction par kilomètre de train des deux lignes avec leur décomposition en leurs divers éléments.

TABLEAU V.

Années.	1900	1901	1902	1903	MOYENNE
Viège-Zermatt.					
Parcours annuel.	43 412	44 256	45 728	46 970	45 105
Personnel.	0,42	0,42	0,41	0,42	0,42
Matières.	0,56	0,75	0,61	0,62	0,62
Entretien et réparations	0,46	0,42	0,61	0,63	0,53
Divers	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Dépenses totales par train-kil.	1,45	1,60	1,65	1,68	1,58
Yverdon-Sainte-Croix.					
Parcours annuel.	57 386	52 972	53 867	53 891	54 529
Personnel.	0,15	0,16	0,16	0,14	0,15
Matières.	0,50	0,52	0,49	0,43	0,48
Entretien et réparations.	0,27	0,26	0,23	0,26	0,26
Divers	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
Dépenses totales par train-kil.	0,95	0,96	0,90	0,86	0,92

On voit, à l'inspection de ce tableau, que les dépenses de traction sur la ligne à adhérence de l'Y.-S.-C. sont beaucoup plus faibles, presque 50 0/0, que celles de la ligne mixte du V.-Z.; mais nous devons, comme nous l'avons indiqué, introduire quelques corrections pour que la comparaison soit aussi légitime que possible (1).

Si nous entrons dans la décomposition des dépenses de traction telle qu'elle ressort du tableau V, nous trouvons une énorme différence sur le chapitre du personnel, 0,42 et 0,15 f. Cette différence tient, au moins en grande partie, au mode d'exploitation du V.-Z., qui concentre la totalité du trafic dans une courte période et exige un plus grand nombre de machines. En fait,

(1) La dépense de traction de 0,92 par train-kilomètre de l'Y.-S. C. concorde très bien avec celle de 1 f pour un train de 64 t du Landquart-Davos à l'époque où cette ligne était seule. Aujourd'hui qu'elle est englobée dans le réseau des Chemins de fer Rhétiques avec des lignes à profil moins accidenté, la comparaison ne présente plus le même intérêt. On trouve, pour ce réseau en 1903, une dépense par train-kilomètre de 0,89 f pour un train moyen de 79 t.

l'Y.-S.-C. n'en a que trois contre six pour le V.-Z. et ce pour un parcours kilométrique supérieur, mais reporté sur toute l'année.

Nous devons supposer qu'une partie du personnel de la seconde ligne est conservé pendant la suspension du service pour des travaux concernant le matériel, mais sans relation directe avec la traction, et, comme nous manquons d'éléments d'appréciation à cet égard, nous croyons devoir trancher la question en prenant purement et simplement le chiffre de 0,42 du V.-Z.

Dans ces conditions, les dépenses de traction pour le train-kilomètre s'établiront comme suit :

Personnel	0,42	1,19 f
Matières	0,48	
Entretien et réparations . .	0,26	
Divers	0,03	

Nous avons supposé que le prix du combustible était le même pour les deux lignes. Si on admet qu'elles brûlent du charbon de la Loire, arrivant par Lausanne, Viège est à 100 km plus loin de cette ville qu'Yverdon, ce qui est insignifiant et, d'autre part, les Chemins de fer Fédéraux qui exploitent la ligne de V.-Z. et ont un réseau de plus de 2 500 km, payent bien probablement leur charbon meilleur marché qu'une petite ligne qui n'a que 25 kilomètres.

Nous n'avons plus qu'à déterminer la longueur à appliquer aux dépenses kilométriques. La note de J. Meyer indiquait pour le tracé à adhérence du V.-Z. une longueur de 35 885 m, mais cette note supposait l'emploi de rampes de 45 0/00 sur 16 087 m. Comme l'Y.-S.-C. n'a que des rampes de 44, il faudra allonger cette partie dans le rapport de 45 à 44, ce qui le porte à 16 452 m soit une augmentation de 365 m laquelle porte ainsi la longueur totale du tracé à 36 250 m. Le prix de traction par adhérence, pour être comparé au prix de traction par crémaillère, devra donc être augmenté dans le même rapport que les parcours, c'est-à-dire $\frac{36\,250}{35\,050} = 1{,}034$ ce qui donne $1{,}19 \times 1{,}034 = 1{,}23$. On se rappelle que les experts de 1888 indiquaient dans leur rapport que la traction par le système mixte ne coûterait par train-km que 0,20 f de plus qu'avec l'adhérence. Nous trouvons ici $1{,}58 - 1{,}23 = 0{,}35$ f environ. La différence serait presque double du chiffre prévu.

A égalité du nombre de trains, le parcours annuel avec l'adhé-

rence devra être augmenté dans le rapport des longueurs des tracés, soit de 1 à 1,034, il deviendra donc 45105 × 1,034 = 46639.

Nous pourrons donc établir comme suit les dépenses de traction comparatives pour l'année ou plutôt la saison.

V.-Z. actuel	45105 km à 1,58 f =	71266 f
V.-Z. à adhérence	46639 km à 1,19 f =	55500 f
	DIFFÉRENCE	14766 f

Cette économie de près de 15000 f n'est évidemment pas très élevée en présence d'une dépense totale d'exploitation d'environ 220000 f par an, mais nous croyons que ce chiffre est un minimum qui serait dépassé notablement en réalité; nous rappelons à ce sujet les réserves que nous avons faites à l'occasion de l'exploitation d'hiver de l'Y.-S.-C. et des frais supplémentaires qu'elle entraine.

Nous avons encore à examiner la question de l'entretien et surveillance de la voie.

Nous prendrons dans les statistiques officielles les chiffres relatifs à ce chapitre pour les mêmes années 1900, 1901, 1902 et 1903 et nous nous baserons sur les moyennes de ces chiffres. Le tableau VI donne pour les deux lignes les dépenses d'entretien et surveillance de la voie totale et par kilomètre de ligne.

TABLEAU VI.

	Années.	1900	1901	1902	1903	Moyenne
V.-Z.	Dépenses totales . .	43314	52032	51817	55310	50873
	Dépenses par kilom	1231	1446	1439	1576	1451
Y.-S.-C.	Dépenses totales . .	24836	20093	19817	20742	21392
	Dépenses par kilom.	994	804	796	857	884

Si on établissait la comparaison sur ces bases, on trouverait les résultats suivants :

V.-Z. actuel	35050 × 1451 =	50873
V.-Z. à adhérence	36250 × 884 =	32045
	DIFFÉRENCE	18828

Mais ce n'est pas ainsi qu'il faut procéder.

Les dépenses d'entretien et surveillance de la voie ne s'appliquent pas seulement à la voie proprement dite, traverses, rails, crémaillère et ballast; elles comprennent aussi l'entretien des ouvrages d'art. On ne peut donc pas appliquer sans examen les chiffres d'une ligne à une autre. Cependant, dans le cas dont nous nous occupons, les différences dans les conditions de la construction ne sont pas très importantes, on peut en juger par les chiffres suivants. Le V.-Z. a huit tunnels d'une longueur totale de 318 m, il a trente et un ponts métalliques de 357 m il y a 13 km en tranchées et 21 km en remblais, tandis que l'Y.-S.-C. a cinq tunnels de 461 m, il a quatorze ponts métalliques de 64 m, des tranchées sur 12 km et des remblais sur 11. Les rails sont exactement du même poids, la charge par essieu est sensiblement la même et le trafic présente des chiffres peu différents. Il ne semble pas qu'un tonnage donné use plus une voie en circulant quatre mois seulement qu'en employant toute l'année pour le faire. Au contraire, l'exploitation d'hiver donne lieu à des dépenses supplémentaires (1) et l'Y.-S.-C. a certaines parties à flanc de coteau dans un terrain difficile qui exigent des travaux continuels d'entretien.

On sait que les experts de 1888 admettaient le chiffre de 200 f par an de dépenses supplémentaires par kilomètre de crémaillère pour le graissage et l'entretien de cet organe ce qui ferait un total de 1 500 f par an.

Il semble difficile de concilier ce chiffre avec la différence de prix de 19 000 f environ trouvé plus haut. Du reste, nous avons le moyen de serrer la question d'un peu plus près, les statistiques dont nous nous servons contiennent, en effet, la décomposition des dépenses d'entretien et de surveillance de la voie, en sous-détails dénommés : personnel, travaux d'entretien et de renouvellement et dépenses diverses. C'est le second de ces titres qui semble se rapporter à ce que nous cherchons. Nous avons les chiffres suivants par kilomètre de voie :

TABLEAU VII.

Années. .	1900	1901	1902	1903	Moyenne
V.-Z.	948	1 157	1 137	1 315	1 139
Y.-S.-C. . . .	646	555	605	492	575

(1) L'enlèvement des neiges, par exemple, qui n'est pas une dépense insignifiante.

En appliquant ces chiffres aux longueurs de tracés, nous avons :

V.-Z. actuel	35 050 × 1 139 =	39 921
V.-Z. à adhérence	36 250 × 575 =	20 844
	DIFFÉRENCE	19 077

C'est un chiffre à peu près identique au précédent.

Le fait d'une économie notable dans les dépenses d'entretien de la voie sur une ligne établie comme celle d'Y.-S.-C. paraît donc hors de doute.

Maintenant devons-nous tabler sur cette différence et la porter entière au crédit de l'exploitation par adhérence? Nous ne croyons pas devoir aller si loin. Nous nous bornerons à admettre que, si l'on ajoute à l'économie de 15 000 f environ par an réalisée sur les frais de traction une faible portion seulement de la réduction des dépenses relatives à la voie et si on tient compte de la modération avec laquelle ont été établis certains chapitres et des omissions volontaires que nous avons faites de certains points (1) il est raisonnable de penser qu'on arrivera ainsi à une économie annuelle en faveur de l'adhérence de 20 à 25 000 f représentant l'intérêt à 4 ou 5 0/0 de la somme de 500 000 f à laquelle les experts avaient estimé l'augmentation du coût de la ligne V.-Z. établie à adhérence (2). Il n'y aurait donc, au point de vue financier, ni avantage ni inconvénient à recourir à l'adhérence si son emploi ne paraissait devoir amener une réduction notable de la durée du parcours. Ces durées et les vitesses commerciales sont données pour les deux lignes V.-Z. et Y.-S.-C. dans le tableau VIII ci-dessous.

1. Voici quelques chiffres qui peuvent donner une idée de l'importance de l'augmentation de la consommation de combustible due à l'exploitation en hiver dans des conditions analogues à celles de la ligne de Y.-S.-C. Sur un chemin de fer dans le nord de l'Europe employant des machines du même type, les consommations kilométriques en hiver et en été sont dans le rapport de 1 à 0,70, soit une moyenne de 0,85, le rapport de la consommation d'été à la consommation moyenne est donc de 0,82. Ce coefficient appliqué à la consommation kilométrique de 0,38 f de combustible de l'Y.-S.-C. donnerait sur la consommation moyenne une économie de 0,07 f soit pour 46 639 km une économie annuelle de 3 265 f portant ainsi la réduction des frais de traction à 18 031 f par an.

(2) Le coût de la ligne V.-Z. est indiqué à 5 800 000 f dans le mémoire de M. Lévy-Lambert; c'est le prix auquel avait été estimé le tracé à adhérence. Il est possible qu'en exécution celui-ci n'eut pas coûté sensiblement plus cher que l'autre et, dans ce cas, les économies réalisées dans la traction et l'entretien de la voie constitueraient des bénéfices nets.

Tableau VIII.

	V.-Z.	Y.-S.-C.
Distance	35 km	24,2 km
Durée moyenne du parcours	2 h 14 m	1 h 5 m
Vitesse commerciale	16 km	22,4 km

Comme il y a le même nombre, six, de stations intermédiaires dans les deux cas, il n'y a pas à tenir compte des arrêts.

Si nous appliquons la vitesse de 22,4 km au parcours de 36,25 km du tracé à adhérence du V.-Z., nous trouvons une durée de trajet de 1 h. 38 m. inférieure de 36 minutes ou 27 0/0 à la durée actuelle du parcours. On peut encore gagner 5 minutes et faire le parcours d'Yverdon à Sainte-Croix en 1 heure, comme nous l'avons constaté personnellement, ce qui correspond à la vitesse très admissible de 30 km à l'heure entre les stations.

Cette vitesse réduirait la durée du trajet entre Viège et Zermatt à 1 h. 27 m., soit un gain de 47 minutes ou 34 0/0. Cette réduction, contre laquelle on ne saurait lutter par une augmentation analogue sur la ligne actuelle où la vitesse est limitée par la crémaillère et aussi un peu par la disposition des machines, constitue un avantage pour les voyageurs qui, malgré la beauté de la vue, pendant le trajet, ne seraient pas fâchés d'être moins longtemps serrés dans des wagons bondés pendant le fort de la saison et un autre non moins sérieux au point de vue de l'utilisation de la ligne et du matériel (1), utilisation limitée par la faible durée de l'exploitation. Nous croyons que cette considération relative à la vitesse est de nature à attirer très sérieusement l'attention et elle parait avoir toujours été laissée de côté jusqu'ici.

Pour compléter la comparaison que nous avons faite entre les deux lignes de Viège-Zermatt et d'Yverdon-Sainte-Croix, comparaison qui a servi de base à notre étude, nous ne saurions nous dispenser de dire quelques mots des résultats financiers donnés par elles. Voici les chiffres pour les quatre années considérées et les moyennes.

(1) Et nous ajouterons du personnel, car, si la vitesse est plus grande, les dépenses de conduite pourront diminuer et il en résultera un certain abaissement de ce chef dans le prix de traction du train-kilomètre, abaissement qui s'ajoutera aux autres causes que nous avons indiquées.

TABLEAU IX.

Années.	1900	1901	1902	1903	MOYENNE
Viège-Zermatt					
Recette kilométrique	14 339	16 063	17 791	17 441	16 161
Dépense —	5 837	5 661	6 010	6 588	5 882
Différence	9 102	10 402	11 751	10 853	10 279
Coefficient d'exploitation	36,5	35,2	36,0	37,8	36,4
Yverdon-Sainte-Croix.					
Recette kilométrique	6 575	6 284	6 857	7 548	6 816
Dépense —	5 128	4 545	4 505	4 524	4 675
Différence	1 447	1 739	2 352	3 024	2 141
Coefficient d'exploitation	78,0	72,3	65,7	60,0	69,0

Le produit net rapporté au capital d'établissement des lignes se trouve représenté de la manière suivante, au moyen des éléments que nous venons de donner plus haut.

TABLEAU X.

	V.-Z.	Y.-S.-C.
Recettes totales	577 784	168 844
Dépenses totales	210 251	115 980
Produit net	367 533	52 864
Prix d'établissement	5 350 000	3 030 000
Produit net pour cent	6,9	1,7

On sera frappé de l'énorme différence des résultats financiers donnés par ces deux lignes, placées cependant dans des conditions qui semblent assez analogues. L'infériorité du produit net de la seconde ligne ne tient pas à l'élévation des dépenses qui sont en réalité très modérées, mais à l'insuffisance des recettes, et cette insuffisance, au point de vue de la comparaison, tient, sans parler ici de la suppression totale du service le dimanche, à ce que l'Y.-S.-C. a les tarifs ordinaires, tandis que le V.-Z. jouit de la faveur des tarifs de montagne. A la première ligne, le tarif pour la classe unique de voyageurs est de 0,10 f par kilomètre, tandis qu'à la seconde on paye 16 f en seconde et 10 f en troisième pour 35 km, soit 0,45 f et 0,29 f par kilomètre. L'explica-

tion est, comme on voit, des plus simples et il est certain que, si c'est l'emploi du tracé à crémaillère avec rampes de 125 0/00 qui a amené la concession de tarifs élevés, il n'y avait pas à hésite rentre les deux solutions, et la crémaillère s'imposait, mais on conviendra que ce genre de considérations saurait être regardé comme rentrant dans le domaine technique.

On nous objectera probablement que la question que nous étudions ici n'a plus grand intérêt aujourd'hui en présence de la traction électrique. Il est incontestable, en effet, que l'emploi de voitures automobiles, pour lesquelles l'électricité présente de si précieux avantages, se prête particulièrement à l'exploitation par adhérence des lignes à profil accidenté, et recule très notablement la limite inférieure de l'usage de la crémaillère. Mais la traction électrique n'est pas une panacée universelle; si elle est indiquée pour les tramways, elle ne s'applique pas aussi bien aux chemins de fer où il n'y a pas qu'un service de voyageurs. On sait que sur la ligne Berthoud-Thoune, les trains de voyageurs sont mus par l'électricité et les trains de marchandises par la vapeur. Cette solution ne peut être généralisée. D'autre part, bien des personnes pensent encore que la traction électrique, pour être nettement économique, doit emprunter le courant à des forces hydrauliques dont beaucoup de localités sont absolument privées. Il semble donc que, pour ces diverses raisons, il se construira encore, pendant une période plus ou moins longue, des chemins de fer de montagnes à traction par la vapeur et il n'était pas inutile de présenter les observations précédentes de nature, croyons-nous, à jeter quelque lumière sur cette question.

Nous l'avons étudiée sans aucun parti pris, nous sommes d'ailleurs un partisan de la crémaillère de la première heure. Dès 1872, nous faisions connaître à nos collègues dans un mémoire inséré dans les Bulletins de la Société les applications du Rigi et d'Ostermundingen et, à propos de cette dernière, nous signalions l'avenir que semblait présenter la combinaison de l'adhérence et de la crémaillère pour l'exploitation des chemins de fer en pays de montagne. Il y avait alors peut-être quelque hardiesse à émettre une telle opinion, car les autorités les plus reconnues à l'époque dans ces questions, étaient loin d'être favorables à la crémaillère. « Les Rigi sont rares, disait Couche, et on ne voit guère à quelle autre circonstance pourrait s'appliquer ce système. L'essai d'Ostermundingen avait sans doute en vue,

non une solution applicable à une exploitation permanente, mais seulement de compléter l'étude de ce mode de traction » (1). Or, en 1900, soit moins de trente ans après, il y avait en exploitation 90 lignes à crémaillère représentant une longueur collective de 1 200 km, réparties dans presque tous les pays du monde.

Cette appréciation de Couche, qu'on peut s'étonner de trouver émise par un esprit aussi judicieux, s'explique par une préoccupation exagérée du faible rendement de la locomotive en rampe et des inconvénients du poids mort. Cette même idée peut conduire à des applications injustifiées de la crémaillère.

Certes, le rendement de la locomotive à adhérence est faible sur les déclivités prononcées, mais ce rendement n'est qu'un des éléments du problème. Celui-ci, dans l'exemple qui a servi de base à notre travail, se résume en somme comme suit : Si une locomotive à adhérence de 33 t remonte un train du poids de 31 t à une hauteur de 955 m, au même prix, dans un temps notablement moindre et dans les mêmes conditions de sécurité qu'une locomotive pesant seulement 29 t, mais s'aidant d'une crémaillère, la première solution sera préférable et la question plutôt théorique du rendement disparaît. C'est comme si, dans le domaine de la production de la force motrice, on trouvait un moteur dont le rendement calorifique dépasserait celui de toutes les machines thermiques connues, mais qui ne pourrait fonctionner qu'avec un combustible coûteux; l'avantage resterait en pratique à des moteurs moins parfaits théoriquement.

Nul n'apprécie plus que nous les services rendus à l'industrie des chemins de fer par les promoteurs de la crémaillère et le rôle que celle-ci a joué et est encore appelée à jouer dans l'exploitation des lignes accidentées; aussi nous associons-nous sans réserve aux appréciations sur ce sujet du mémoire de M. Lévy-Lambert. Mais c'est précisément pour cela que nous nous croyons autorisé à insister sur la nécessité de ne faire de la crémaillère que des applications judicieuses et de réserver ce précieux auxiliaire pour les cas où son emploi est réellement indiqué. Nous serions heureux si ce modeste travail pouvait être de quelque utilité dans le choix d'un système de traction pour lignes de montagnes.

(1) *Voie, matériel roulant et exploitation technique*, etc. T. II, p. 735.

COMPTE RENDU

DU

CONGRÈS FRANÇAIS

DE LA

PRÉVENTION DU FEU DANS LES BATIMENTS

Tenu à Paris du 1er au 5 Mars 1906.

RÉSUMÉ ANALYTIQUE DES TRAVAUX

PAR

M. Henri FAVREL
SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DU CONGRÈS

Le premier Congrès de la Prévention du Feu dans les Bâtiments, organisé par le Comité technique contre l'Incendie et annoncé à la Société des Ingénieurs civils le 2 février dernier, a tenu ses séances à Paris du 1er au 5 mars.

Comme secrétaire général, nous avons pu rassembler de nombreux documents dont l'intérêt engage à présenter un résumé analytique des travaux de ce Congrès.

Le triple but poursuivi a été atteint :

1° Réunir et grouper les collaborateurs isolés qui s'intéressent effectivement à l'étude de la Prévention et de la Défense contre le Feu ;

2° Attirer l'attention générale sur l'importance et la nécessité de l'étude de l'Incendie considérée comme science ;

3° Obtenir l'assentiment et l'encouragement des pouvoirs publics, en devenant collaborateurs utiles tout désignés lorsqu'il s'agit d'imposer efficacement des mesures pratiques préventives contre l'Incendie.

La séance d'ouverture a été présidée par M. le Préfet de Police, assisté de M. Michotte, président du C. T. I. et du Congrès, et des membres du Bureau. M. le Ministre de la guerre s'était fait représenter par le commandant Cordier, de l'état-major des sapeurs-pompiers de Paris.

M. le Préfet a reconnu que si l'organisation actuelle du corps des sapeurs-pompiers, conjointement avec le service des avertisseurs publics, a permis de réduire de 6,94 à 2,50 0/0, la proportion des incendies-sinistres dans la dernière période décennale, ce nombre serait encore très diminué par l'application de mesures basées sur une étude à la fois scientifique et pratique des causes d'incendie et des moyens de prévention et de défense contre le Feu. Il y a donc un grand intérêt public à poursuivre ces études et à en vulgariser les résultats.

M. *Michotte* rappelle que le but du Comité est précisément de vulgariser cette branche de la science du Feu, la Prévention, actuellement peu connue en France, alors qu'à l'étranger, elle a pris une place considérable.

Ingénieurs, architectes, pompiers, tous peuvent collaborer à cette œuvre nationale et humanitaire.

En outre, des essais pratiques en expériences publiques seront faits au Laboratoire d'Arcueil-Cachan.

Les principales communications résumées ci-après, suivies des décisions et vœux émis et adoptés par le Congrès, ont été réparties en cinq sections :

1° Matériaux de construction, leur résistance au feu ;

2° Appareils de chauffage et d'éclairage, leurs dangers, leur inocuité ;

3° Appareils et dispositifs de secours à employer dans les bâtiments pour combattre le feu ;

4° Théâtres et édifices publics, magasins, maisons d'habitation : dispositifs de sécurité et de sauvetage ;

5° Législation relative aux mesures à prendre contre l'incendie.

1° — *Le béton armé.*

M. Gallotti cherche à dissiper les craintes sur la durée du béton armé. Du côté physique, le fer et le béton possèdent les qualités et les défauts inverses, pour la compression et la tension, qui, judicieusement combinés, donnent un corps remarquable. Les coefficients de dilatation sont d'ailleurs identiques. Du côté mécanique, à part les cas de désorganisation violente comme explosions, pas de crainte à avoir, même dans les incendies les plus violents comme à Baltimore. Du côté chimique, l'auteur cite des cas remontant à vingt, cinquante et même

quatre cents ans, dans lesquels le fer enrobé dans les maçonneries, sans doute à cause de la formation d'une pellicule de ferrite de chaux (d'après M. Le Chatelier) constituant une chemise imperméable au métal, s'est trouvé bien sain et décapé.

Sous l'action des trépidations dans les usines, dans les ponts en béton armé, ce matériau se comporte admirablement et l'entretien en est insignifiant comparativement aux autres.

M. Gallotti présente ensuite une quantité de documents et de photographies dans lesquels on doit remarquer la résistance et l'invulnérabilité du béton armé au point de vue incendies, en particulier celui de la ville de Baltimore dans lequel, seul, le béton armé a résisté.

Décision. — « Le Congrès constate que le béton armé a tou-
» jours victorieusement résisté aux incendies les plus violents,
» tant en expériences qu'en pratique, et que, relativement à la
» durée, il n'y a aucun fait qui permette actuellement de douter
» de sa longue résistance. »

2. — *La résistance du plâtre.*

S'appuyant sur des expériences et des exemples pratiques, on doit reconnaître la valeur du plâtre comme revêtement protecteur, même sous une épaisseur de 2 ou 3 cm, à la fois économique et efficace.

Décision. — « Le Congrès constate que le plâtre est un excel-
» lent revêtement protecteur contre l'attaque par le feu des
» matériaux qu'il protège. »

3. — *Les poutres creuses en béton armé.*

Les poutres creuses *Siegwart* ont l'avantage d'être livrées sur chantiers complètement durcies, et celui de pouvoir être essayées, réceptionnées, laissant la fabrique seule responsable, elles sont en outre très résistantes au feu, comme le prouvent les essais de Lucerne, Zurich, Berlin, Paris, New-York, ainsi que des épreuves dans des incendies réels.

Vœu. — « Le Congrès trouvant intéressante la communication
» sur le système particulier des « poutres Siegwart » en béton
» armé serait désireux que des expériences nouvelles qui per-
» mettent de constater *de visu* leur résistance au feu fussent
» faites par le Comité technique. »

4. — *Le verre armé.*

On ne saurait trop appeler l'attention sur la résistance du verre armé exposé au feu et aux jets de lances. En Amérique, il est imposé dans les entrepôts, pour les portes en particulier. Il ne coûte pas plus cher que verre et treillage posés.

Décision. — « Le Congrès constate que le verre armé résiste » bien au feu. »

5. — *L'asbestic.*

L'asbestic, produit naturel tiré des mines d'amiante de Danville, au Canada, a la même composition chimique que l'amiante, mais sa structure physique, à la fois pulvérulente, fibreuse et rocheuse en rend l'emploi facile en mélange avec le plâtre, la chaux ou le ciment.

Un enduit de 15 à 30 mm assure la protection contre le feu: il préserve le fer de la rouille.

L'auteur cite les expériences de Duisbourg, de Lyon, de Londres, d'Aix-les-Bains, de Pontarlier, de Toulouse. Des poutres en bois enduites n'ont pas été atteintes aux températures de 850 et 1 200 degrés centigrades.

Enfin, dans les incendies de Birmingham (usines Miers et Cie), de Graengesberg (usine Salwen), de Sidney (postes), le feu a pu être localisé par les enduits d'asbestic.

Vœu. — « Le Congrès désire que des expériences publiques » soient faites sur la résistance au feu des revêtements en » asbestic. »

6. — *Matériaux combustibles et incombustibles. — Matériaux résistants et non résistants au feu.* (Définition.)

Vœu. (Proposition de M. *Michotte.*) — « Le Congrès émet le » vœu que les désignations précédemment adoptées par le » Congrès de Londres de « Matériaux *résistants au feu* » et « *non* » *résistants* » soient adoptées par le Comité technique et dans la » pratique, et qu'à l'avenir les termes actuellement employés de » matériaux incombustibles et combustibles ne le soient plus » dans toutes les questions concernant la résistance au feu. »

7. — *La pierre de bois.*

La « pierre de bois », mélange spécial de déchets de bois, de magnésie, etc., forme des dallages incombustibles de 8 à 12 mm.

gâché avec du chlorure de magnésium. Il forme d'excellents parquets sans joints.

Vœu. — « Le Congrès désire que le matériau dénommé » « pierre de bois » soit expérimenté publiquement par le » Comité. »

8. — *Le fibro-ciment.*

Le fibro-ciment, composé d'amiante et de ciment comprimés est complètement incombustible. Il peut servir de revêtement protecteur et remplacer le bois pour casiers, portes blindées, etc.

Décision. — « Le Congrès constate la résistance au feu des » revêtements en fibro-ciment. »

10. — *L'éclairage à l'acétylène par lampes portatives.*

On doit considérer la statistique effrayante des accidents journaliers causés par le renversement ou l'explosion des lampes ou fourneaux à liquide inflammable ou combustible, essence, alcool, pétrole. Au contraire, malgré le nombre toujours croissant des petits appareils autogénérateurs à acétylène mis entre les mains du public, on ne signale pas d'accident grave. Il est à remarquer qu'au moins huit fois sur dix, les accidents par lampes à liquide combustible amènent la mort d'une ou de plusieurs personnes.

On peut montrer très simplement que la charge ordinaire des lampes portatives est trop faible pour amener une explosion ou une intoxication dans une chambre close. D'ailleurs, la densité du gaz acétylène, très voisine de celle de l'air, permet une diffusion rapide, une aération facile des locaux sans cantonnement comme avec le gaz Lebon.

L'innocuité des lampes portatives, reconnue officiellement par l'arrêté préfectoral du 11 juillet 1899 qui ne les règlemente pas, les fait recommander pour les emplois domestiques, les éclairages forains, les projections, les travaux de chantiers, les services d'incendie ; les sapeurs-pompiers viennent d'ailleurs d'adopter définitivement les flambeaux à acétylène après de longs essais pratiques et concluants.

Vœu. — « Le Congrès désire qu'un système de fourneau por- » tatif auto-générateur à acétylène, soit étudié en vue de sup- » primer les dangers des fourneaux à essence et à alcool. »

Un tel système est difficile à réaliser par le fait du régime

intermittent exigé, si on demande un système aussi simple que possible pouvant être confié au premier venu.

11. — *Les moulures électriques pour électricité et leurs dangers.*

On constate que les incendies par l'électricité sont beaucoup plus fréquents que ceux causés par le gaz.

Dans ces accidents le court-circuit est encore moins fréquent que l'inflammation des isolants sous l'influence d'une surcharge de courant. Quelle que soit la cause, il est certain que si, au lieu de placer réglementairement les fils sous moulures en bois léger, ultra-combustible, on les mettait dans des gaines incombustibles, le danger serait évité. Il existe des baguettes en fibro-ciment incombustibles déjà, elles coûtent plus cher que le bois, voilà tout.

Vœu. — « Afin de rendre moins dangereux l'éclairage » électrique, le Congrès désire que les moulures en bois ordi- » naire pour électricité soient supprimées et remplacées obliga- » toirement, soit par des moulures résistantes au feu et non » perforables par des clous, soit par des conduites ou tubes iso- » lateurs, soit par des dispositifs présentant des propriétés ana- » logues. Dans le cas d'emploi de moulures résistantes à cou- » vercle, le mode de fixation du couvercle serait autre que des » clous ou des vis. »

Les accidents provenant de clous enfoncés de travers et venant toucher les conducteurs sous moulures, sont moins fréquents que ceux provenant de clous enfoncés par des personnes autres que les installateurs d'électricité, il serait surtout intéressant d'obtenir des moulures non perforables en matériaux durs.

12. — *Les installations électriques dans les petites localités, leurs dangers, les moyens de les prévenir*, par M. P. Robin, Ingénieur.

L'auteur montre que malgré les ressources souvent faibles, les installations électriques se multiplient dans les petites localités. Il faut donc réduire les frais d'établissement et obtenir le maximum d'abonnés ; par suite la station centrale et les installations particulières sont établies dans des conditions souvent défectueuses constituant un danger public. Les Compagnies sont soumises aux règlements pour la canalisation et les feeders de distribution, mais elles ont en général toute latitude pour l'organisation dans l'usine et chez les abonnés.

A l'usine, les principaux défauts résident dans la construction des bâtiments en matériaux non résistants, dans le tableau ; les fusibles sont mal calibrés, les parafoudres mal construits deviennent dangereux.

Chez les particuliers, on installe en fils souples, d'isolement insuffisant, de section souvent quelconque, sans tenir compte de l'humidité, du climat, de la tension et de l'intensité. On ignore le tube isolateur, on emploie quelquefois la moulure en bois. Les coupe-circuits sont très économisés. On n'effectue souvent aucun essai de résistance ni d'isolement à la terre. Cependant l'abonné signe une police dans laquelle il « restera seul res» ponsable des conséquences du passage du courant électrique » et de toute son installation, dont il possède la surveillance » sous sa seule responsabilité ». Il y a là un véritable transfert. La faute en est aux Compagnies, aux municipalités et aux abonnés. Les municipalités, incompétentes, acceptent les clauses que leur proposent les concessionnaires souvent incompétents aussi (l'auteur cite des exemples); l'abonné signe les yeux fermés.

On prépare ainsi des foyers d'incendies. Les municipalités peuvent apporter un remède en demandant l'élaboration d'un cahier des charges sérieux et type auquel elles se référeraient. Les abonnés demanderaient sur la police à ce que les Compagnies responsables, garantissent l'installation, et celles-ci par une exploitation devenue plus économique donnant un éclairage irréprochable, y trouveraient avantage.

13. — *Les canalisations électriques en tubes isolateurs.*

Il est à remarquer que si d'un côté les progrès réalisés dans les moyens de production de l'énergie électrique, sont considérables, à l'heure actuelle on néglige encore trop dans les installations la partie relative à la canalisation.

Une canalisation électrique idéale serait constituée par un conducteur revêtu d'une gaine isolante, incombustible, résistante au point de vue mécanique, facilement pliable pour épouser les courbes et angles, et d'autre part suffisamment rigide pour conserver la forme donnée sans nécessiter de nombreuses fixations; la gaine ne devrait être ni poreuse, ni hygrométrique, ni hygroscopique, elle devrait résister à la chaleur, être inattaquable aux acides et alcalis, se laisser peindre et vernir.

Il n'existe pas actuellement de canalisation remplissant par elle-même ces conditions; il faut donc avoir recours à une solu-

tion composée dans laquelle on utilise les conducteurs du commerce que l'on protège ensuite par la gaine résistante, isolante et incombustible.

Le principe de la canalisation en tubes isolateurs consiste à établir dans une construction, au fur et à mesure des travaux de maçonnerie, une conduite résistante, isolante, imperméable et incombustible, dans laquelle les fils conducteurs seront placés par tirage après achèvement des travaux, cette canalisation permettant à tout moment la visite facile des conducteurs.

Les tubes isolants qui se répandent heureusement en France, alors qu'à l'étranger ils sont imposés partout, suppriment le grand danger que présentent les moulures en bois : armés de laiton ou d'acier, ils remplissent toutes les conditions techniques désirables pour la protection efficace des canalisations électriques.

Constatant la grande proportion des incendies causés par la non-protection des conducteurs électriques, on doit insister sur l'intérêt qu'il y a à étudier les moyens d'isolement des fils par des matériaux incombustibles et résistants.

1er Vœu. — « Le Congrès désire que des études soient faites » en vue de ne plus employer de fils conducteurs à enveloppe » combustible en gutta, et qu'en attendant, ces derniers soient » placés sous tubes ou moulures résistants au feu. »

2e Vœu. — « Le Congrès désire que les architectes prévoient » les conduits de passage pour conducteurs électriques protégés » de manière à éviter une main-d'œuvre coûteuse. »

14. — *Le bec renversé à gaz.*

Dans l'éclairage au gaz, les genouillères sont dangereuses.

Le bec droit présente déjà des avantages sur le papillon.

Les becs à incandescence sont plus économiques et donnent un éclairage supérieur. Parmi ces derniers le bec renversé, au point de vue incendie, présente le maximum de sécurité, la flamme n'étant plus comme dans le bec droit dirigée vers un point fixe qu'elle échauffe beaucoup, mais largement épanouie circulairement, la chaleur est ainsi bien diffusée, les verrines plus éloignées aussi chauffent moins.

Décision. — « Le Congrès constate que le bec renversé à gaz » est moins dangereux que les autres becs. »

15. — *Appareils et produits à ne pas employer*, par M. MICHOTTE.

L'auteur cherche à montrer le peu de valeur des appareils connus sous les noms de « grenades » ou de « petits extincteurs chimiques ».

Les expériences faites ne sont pas assez concluantes en leur faveur.

Ils constituent souvent un danger par la fausse sécurité qu'ils donnent en faisant retarder l'appel des pompiers, auquel on se résout lorsqu'on s'aperçoit que ces petits appareils sont impuissants.

Les petits extincteurs chimiques à pression d'acide carbonique ne fonctionnent pas toujours au moment voulu, d'autres fois ils éclatent. On ne peut les essayer.

Quant au pouvoir extincteur de l'acide carbonique qu'ils renferment (quelques litres), il est insignifiant.

Tous les pompiers déconseillent l'emploi de ces appareils dont le moins mauvais serait encore le vulgaire siphon d'eau de seltz, ayant au moins l'avantage de coûter quelques centimes seulement et qu'on trouve partout.

Quel que soit le genre, aucun ne vaut le seau d'eau ordinaire qui, à lui seul, fera besogne utile rapidement et économiquement.

Vœu. — « Le Congrès recommande d'éviter l'emploi des petits extincteurs chimiques qui donnent une fausse sécurité, et de les remplacer par de l'eau envoyée sous faible pression à l'aide d'une pompe à main, d'un seau ou d'une éponge. »

Une discussion s'engage ensuite au sujet des *ignifuges*. Il ressort des observations présentées que leur emploi n'est vraiment efficace que si l'ignifuge est injecté. Quant aux peintures ignifuges il y a lieu d'être très circonspect sur leur valeur. On peut obtenir des *cartons ignifugés* en incorporant l'ignifuge dans la pâte, malheureusement beaucoup d'ignifuges sont hygrométriques.

On peut cependant arriver à obtenir des cartons et papiers ignifugés par incorporation de poudres minérales inertes, calcaires, siliceuses, etc., et au moyen de ces cartons, constituer des panneaux de revêtement, comprimés même, ce qui augmente encore l'incombustibilité, et qui sont encore supérieurs aux meilleurs bois ignifugés.

16. — *Dispositifs de secours immédiat dans les immeubles*, par M. le docteur MILLIEN.

Si l'on se pénètre de cette vérité qu' « un incendie pris à ses débuts est un sinistre évité », on doit tout faire pour être à même d'attaquer vivement tout commencement d'incendie. Dans de nombreux et importants immeubles on néglige encore de prendre de telles dispositions en se fiant à la diligence des pompiers. Quelle que soit cette rapidité, il n'en est pas moins vrai que le feu est encore plus rapide et que ses progrès doivent être combattus immédiatement par des engins permanents à domicile.

Le colonel Paris désirerait voir dans chaque immeuble, deux postes, l'un dans la cour, l'autre à l'étage supérieur, avec tuyaux et lances. La chose est facile et peu coûteuse, l'eau existant d'ailleurs sous pression.

On peut encore réduire la dépense en employant le « dévidoir universel », qui s'adapte à tous les robinets de cuisine sans raccord spécial.

1er Vœu. — « Le Congrès désire que dans les immeubles, il » soit donné à la colonne montante d'eau, tout en prenant des » mesures préventives contre la gelée, un diamètre suffisant » pour permettre d'apporter un secours immédiat, et qu'à chaque » étage soit placé un robinet facilement accessible ; de plus un » tuyau de longueur suffisante pour aller dans toutes les pièces. » muni d'un raccord universel, serait placé chez le concierge à » la disposition des locataires. »

2e Vœu. « En raison des difficultés qu'on éprouve souvent à » trouver vite les avertisseurs publics les plus proches, le Congrès » désire qu'une flèche indicatrice placée sur un réverbère à » chaque coin de rue, donne la direction voulue. »

3e Vœu. — « Le Congrès désire que les plans des sous-sols des » immeubles se trouvent en permanence chez les concierges. » avec la désignation des matières inflammables ou dangereuses » qui s'y trouvent. »

17. — *De la sécurité des spectateurs dans les théâtres ; le théâtre actuel ; le théâtre tel qu'il devrait être*, par M. FRANTZ JOURDAIN.

L'auteur définit le rôle de l'architecte et ses devoirs envers la sécurité publique et envers les directeurs de théâtres. Il examine les prescriptions : le grand secours et le petit secours. Grand

secours, très bon en principe mais souvent l'eau manque, en outre, il coûte très cher (Variétés : 30 000 fr). L'installation est reçue, mais jamais expérimentée, et pour cause.

Lorsqu'un employé quelconque aperçoit une flamme, il doit baisser le rideau de fer, ouvrir la vanne, appeler les pompiers et se sauver. Il y a un simple carreau à casser : mais d'autre part l'auteur croit qu'en cas d'incendie tous les lanterneaux ne manœuvreraient pas. Les pompiers sont très braves, mais ils ne connaissent pas les plans des théâtres et les fréquents commencements d'incendies sont éteints par les machinistes.

L'éclairage au gaz des herses était une cause sérieuse de feu; elle a été diminuée par l'électricité.

On a remplacé le chauffage à l'air chaud par la vapeur à basse pression.

L'ignifugation des décors dégrade les couleurs et devient inefficace par le temps.

Les règlements de police ont exigé des passages au milieu et des dégagements ; ces prescriptions bonnes ne sont même pas observées dans les théâtres subventionnés. Les strapontins ne sont que tolérés et avec relèvement automatique et encastrement. Les portes des loges s'ouvrant autrefois à un seul vantail et extérieurement, sont actuellement à deux vantaux mais encore vers l'extérieur, le danger est simplement coupé en deux ; le mieux serait un système de portes roulantes à coulisses laissant les couloirs libres.

Chaque théâtre devrait avoir en outre des prescriptions particulières.

Le petit secours est constitué par des seaux d'eau, haches, etc.

Avant tout, il faut se préoccuper de diminuer les chances d'incendies par le choix des matériaux. Il faut éviter les tentures, draperies; surtout mettre beaucoup d'escaliers comme en Angleterre : chaque sorte de place a son entrée et sa descente. On pourrait imposer ces règles aux nouveaux théâtres (on l'a négligé au nouvel Opéra-Comique). On devrait isoler complètement le théâtre et la scène ; les accessoires sont de grandes causes d'incendies. Les échelles et balcons en fer très coûteux (25 à 40 000 f) ne serviraient à rien.

M. Chenevier a fait un plan de théâtre intéressant ; il préconise les extincteurs automatiques du genre Grinnell adoptés en Amérique. Les dernières expériences de Vienne ont démontré l'inefficacité du rideau de fer ; le grand secours n'est souvent pas

manœuvré en temps utile (Théâtre Français). La question est de faire un théâtre incombustible, mais on se heurte aux besoins des machinistes d'avoir des bois dans les décors.

Quant aux décors, on pourrait les faire sur tôle ou zinc, mais ils ne pourraient se rouler et la salle devrait être trop haute.

En cas de sinistre, il faudrait sacrifier la scène à la sécurité du public et la recouvrir d'une toiture légère. Chaque escalier doit desservir sa galerie et aboutir sur la rue. En outre, jusqu'ici, on ne s'est guère préoccupé des places supérieures bon marché les plus dangereuses.

1er Vœu. — « Le Congrès désire que l'on s'occupe dès maintenant des moyens de dégagement des places supérieures » dans les théâtres ».

Les concours de projets de théâtres ne considérant le plus souvent que l'aspect décoratif :

2e Vœu. — « Le Congrès désire que dans les jurys de concours » de projets de théâtres, il y ait un membre du Comité Technique contre l'Incendie, ayant voix consultative ».

18. — *Avertisseurs automatiques.*

Si les rondes sont nécessaires, il est non moins utile d'avoir des appareils automatiques avertisseurs qui, sous l'influence d'une augmentation de température anormale, donnent l'éveil. Il existe plusieurs bons systèmes peu coûteux fonctionnant de 40 à 60° centigrades, suivant réglage, basés sur la fermeture d'un circuit électrique actionnant une sonnerie. — *Décision* favorable du Congrès.

19. — *Les grands magasins Oberpollinger à Munich*, par M. C. Jolly.

L'auteur montre d'abord que les grands magasins en France non réglementés sont extrêmement dangereux, les causes de feu y sont nombreuses et les moyens de sortie souvent encombrés.

Il donne alors la description des nouveaux magasins de Munich réglementés par l'ordonnance du 7 octobre 1903 qui dénotent un progrès à imiter. Aucune personne ne se trouve jamais à plus de 25 m d'un escalier. Il y a quatre cages d'escaliers (une par étage) débouchant au rez-de-chaussée par quatre portes indépendantes. Le 4e étage est cloisonné de murs de feu

ainsi que le sous-sol. Les autres étages sont une vaste salle divisée par les paravents, vitrines, etc. La construction principale est en béton armé ; la cour est couverte en verre armé. L'alimentation en eau est assurée par des conduites indépendantes et des prises nombreuses.

Le chauffage est à la vapeur à basse pression.

L'éclairage normal est électrique et protégé partout, il est fourni par une sous-station située aux magasins. Un éclairage de secours est installé, alimenté directement par la Ville.

Un réseau téléphonique et des avertisseurs permettent de prévenir immédiatement le public et les employés.

Vœu. — « Le Congrès désire qu'en France il soit imposé des » mesures de sécurité dans les grands magasins comme à » l'étranger et que cette question, vu son importance, soit sou- » mise aux études du Comité Technique contre l'Incendie ».

20. — Sur une question présentée relativement aux *gaines de cheminées.*

Vœu. — « Le Congrès reconnaissant le danger que présentent » les gaines de cheminées placées dans les murs séparatifs » des immeubles, désire que ces murs constituent des murs » de feu absolument pleins, construits en matériaux résistant » au feu ».

21. — *Portes résistantes et portes non résistantes.*

On constate la protection obtenue contre l'extension d'un incendie lorsqu'on dispose de portes résistantes. Or actuellement on croit encore que la porte en fer est efficace. De nombreux exemples prouvent le contraire. La porte en fer se gondole, par suite laisse passer le feu.

Parmi les portes résistantes, il faut citer celles en bois blindé de tôle, en verre armé (imposée en Amérique), en bois doublé de fibro-ciment.

Vœu. — « Le Congrès désire que les portes en fer soient sup- » primées, vu leur peu de résistance au feu et soient rempla- » cées par des portes résitantes au feu, ne se déformant pas » sous l'action de la chaleur, telles qu'en bois ignifugé sous » pression, en bois blindé de tôle, en bois revêtu de fibro- » ciment, en verre armé ou matières analogues éprouvées ».

22. — *Dispositif en dents de scie*, de M. Mauvezin.

Ce dispositif consiste à placer en une sorte de main courante le long des parois des galeries, tunnels, etc., une série de redants, continue, donnant en plan, l'aspect d'une lame de scie et permettant au toucher de trouver la direction des sorties lorsqu'on se trouve dans l'obscurité.

On en a montré une application possible dans les gares du Métropolitain.

Décision. — « Le Congrès recommande le dispositif en dents » de scie comme moyen sûr et économique de guider les per- » sonnes dans l'obscurité ».

A propos du Métropolitain, on remarque que de nombreux obstacles évitables sont créés par l'emploi de bancs dans les gares, ainsi que par l'installation de distributeurs, de bascules automatiques, etc.

En outre les barrières qui ont déjà fait l'objet de nombreuses études en vue de concilier à la fois les besoins du service et la sécurité du public, ne sont pas encore parfaites en bien des cas sur ce dernier point.

Vœu. — « Le Congrès, reconnaissant le danger que présentent » certaines barrières du Métropolitain pour l'évacuation du public » en cas de panique, désire voir apporter les modifications » nécessaires ».

23. — *Chemins d'évacuation et de sauvetage des personnes dans les bâtiments.*

Il y a nécessité de multiplier les chemins d'évacuation dans les immeubles. Il faudrait circonscrire l'étage incendié en se servant des dégagements : escaliers ordinaire et de service, ascenseurs si possible, mais aussi bien par le haut que par le bas. Pour les groupes de maisons, exiger des chemins de toiture faciles : promenoir de faîtage, escaliers d'accès, chéneaux larges et résistants à main courante, etc.

Il y a bien un arrêté préfectoral de novembre 1863, il est rarement observé. Pour les maisons isolées, on pourrait prévoir des sorties provisoires sur pignons. Les balcons devraient être accessibles aux sauveteurs.

L'objection relative aux cambriolages doit être écartée si on

prend des dispositions facilement imaginables en conséquence. Dans les édifices publics, magasins, etc., il faut « canaliser les foules » en créant un grand nombre de dégagements libres et indépendants débouchant au dehors. On pourrait peut-être songer à l'évacuation automatique dans de certains cas par le moyen de chemins roulants, à condition qu'ils fonctionnent.

1er *Vœu.* — « Le Congrès désire voir appliquer des dispositifs » permettant l'accès facile des toits et des balcons en cas d'in- » cendie tout en tenant compte de la sécurité contre le cam- » briolage ».

2e *Vœu.* — « Le Congrès désire que les immeubles soient tou- » jours pourvus de deux escaliers séparés entre eux et séparés » des locaux industriels contenant des matières inflammables » et que les chéneaux résistants soient munis de mains » courantes ».

22. — *L'éducation du public en matière d'incendie*, par M. Favrel.

L'éducation du public doit être envisagée comme un excellent moyen préservatif et de défense. Elle est à faire.

L'incendie est une science un peu comparable à la science de la guerre : on y retrouve prévention, défense, lutte, tactique, retraite. Comme science, elle a ses lois, ses principes immuables, ses phénomènes, ses déductions, sa pratique avec ses expériences, ses découvertes et ses applications; sa vulgarisation est à la portée de tous, elle a aussi son histoire et son martyrologe. La vulgarisation comporte une étude des caractères et des tempéraments des gens. Un incendie étant toujours possible si bien précautionné soit-on, l'éducation du public doit envisager, en outre de l'instruction nécessaire, les questions d'instinct de conservation, l'influence du moral, le sang-froid, l'entraînement.

Vœu. — « Le Congrès, reconnaissant l'importance de l'éduca- » tion du public en matière d'incendie, désire que des notions » sur la science du feu soient répandues et vulgarisées dans les » écoles, les régiments, les sociétés de sauvetage, etc., par des » moyens simples à la portée de tous ».

25. — *Réformes à apporter dans la législation actuelle*, par M. Michotte.

L'auteur rappelle que dès 1889 les Congrès de sapeurs-pompiers ont distingué trois séries de mesures à prendre :

1° Les mesures préventives ;

2° Les mesures de premier secours ;

3° Les mesures d'extinction.

De nombreux exemples et citations montrent que jusqu'ici on a beaucoup négligé les deux premières.

Les Congrès de Budapest en 1904 sollicitent le concours des Architectes et des Ingénieurs dans ce but, ainsi que la création de comités spéciaux d'études et de vulgarisation. Nous pouvons actuellement, de par nos connaissances :

1° Rendre un bâtiment résistant au feu ;

2° Aménager de manière à empêcher la propagation ;

3° Restreindre considérablement les causes du feu ;

4° Éteindre automatiquement les commencements d'incendies.

On peut donc éviter les catastrophes en appliquant les mesures préventives nécessaires.

Les règlements actuels ne s'accordent plus avec les nouveaux besoins et ne tirent pas parti des connaissances acquises. Ils sont à refaire.

Les Congrès de Londres (1903) et de Budapest (1904) ont bien défini le rôle de l'État pour la consolidation des lois préventives et protectrices, leur mise en vigueur, généralisée et unifiée pour tous pays, en laissant aux autorités locales le soin d'ajouter des règlements spéciaux, s'il y a lieu, selon les besoins. Des enquêtes sérieuses, compétentes, doivent être faites sur les causes d'incendies pour obtenir des statistiques intéressantes et vraies.

Il faut donc :

1° Reviser la législation actuelle, d'accord avec les découvertes et la pratique.

2° La compléter sur bien des points où elle est actuellement muette (par exemple, les navires).

Vœu. — « Le Congrès reconnait qu'il y aurait intérêt pour » l'État à instituer une législation spéciale applicable à toute la » France pour la prévention et la défense contre l'incendie, en » s'inspirant à ce sujet de ce qui a été fait dans les législations » étrangères ».

26. — *Sur un projet de cahier des charges relatif à la prévention et à la défense contre l'incendie dans les constructions.*

Il serait utile de pouvoir donner aux constructeurs un vade-mecum non pas d'obligations, mais de conseils pratiques sur toutes les parties de la construction et des installations des bâtiments divers. Certains règlements en vigueur sont inapplicables ou inappliqués.

Au point de vue des risques, les bâtiments se diviseraient en non dangereux, moyennement dangereux et dangereux ; au point de vue de la prévention, en bâtiments protégés, moyennement protégés et bien protégés.

Il serait tenu compte de la situation du bâtiment (isolé, en ilot, en grands groupes), de sa destination.

Il y aurait aussi à envisager les cas de bâtiments déjà construits et de bâtiments à construire.

Dans les bâtiments publics, on se préoccuperait de la quantité de personnes qu'ils devraient contenir.

Prenant alors les plans, les matériaux, les appareils d'installations intérieures diverses, ceux de sauvetage, on se bornerait à indiquer des méthodes, règles, procédés sans spécifier aucune marque ayant caractère de réclame. On s'attacherait surtout à condamner ce qui est mauvais. Il y aurait donc des « conditions à remplir » et des « inconvénients et défauts à éviter ».

Vœu. — « Le Congrès désire qu'une commission élabore un » cahier des charges ou d'instructions pour la prévention du feu » dans les bâtiments, où les constructeurs pourront trouver toutes » les indications utiles et efficaces ».

Ce premier Congrès Francais a tracé une ligne générale pour le prochain qui doit avoir lieu en 1907, dans lequel de nouvelles sections seront créées, principalement celles relatives au matériel d'incendie, aux navires, aux chemins de fer et véhicules publics, aux mines, etc., ainsi qu'à l'assistance aux sinistrés et aux sauveteurs, en un mot à tout ce qui peut se rapporter à la prévention, à la défense et aux secours contre l'incendie.

ÉTAT ACTUEL DU MOULAGE MÉCANIQUE

PAR

M. E. RONCERAY

L'art du fondeur dont le présent mémoire a pour but d'étudier et de traiter une branche est très complexe. Parmi ses nombreuses subdivisions on peut citer la préparation des sables, la confection du moule qui englobe le moulage à la main, en sable et en terre et le moulage mécanique, la fusion, la coulée et ses rapports avec la constitution du moule, la terminaison des pièces, c'est-à-dire l'abattage des masselottes, l'ébarbage, l'essablage et autres travaux accessoires et enfin la composition et la nature des produits à fondre.

Sauf peut-être la composition et la nature des produits à fondre qui ont été l'objet de travaux fort intéressants au premier rang desquels nous devons rappeler ceux de notre éminent Collègue, M. Guillet, on doit reconnaître que l'art du fondeur a été très négligé par les Ingénieurs. C'est bien dommage, car c'est une des branches de la métallurgie qui n'a pas progressé avec le reste, surtout au point de vue de la partie moulage proprement dit et de la préparation des sables qui ont été laissés à l'appréciation des contremaîtres et ouvriers. Nous croyons qu'il y a là un sujet d'étude extrêmement intéressant pour les Ingénieurs pourvu qu'ils condescendent à s'occuper des détails de la fonderie où nous savons par expérience qu'il y a d'énormes progrès à réaliser.

Le but de cette étude est exclusivement d'étudier le moulage mécanique et nous serons même obligés de laisser de côté une partie de ce sujet qui est est excessivement vaste. Nous n'examinerons du moulage à la main que le principe qui nous sera utile pour nos démonstrations ; nous laisserons également de côté le rapport que peut avoir le moulage proprement dit avec la fusion c'est-à-dire la disposition des coulées, des tranches, le degré de serrage, etc.

Le sujet est trop vaste et ne pourrait être traité que dans une

série de mémoires; du reste la question est encore assez obscure à l'heure actuelle.

Nous souhaitons que cette partie de la fonderie comme les autres soit soumise à une sévère étude expérimentale de la part des Ingénieurs qui certainement y trouveront un champ d'expérience des plus intéressants et des plus fructueux.

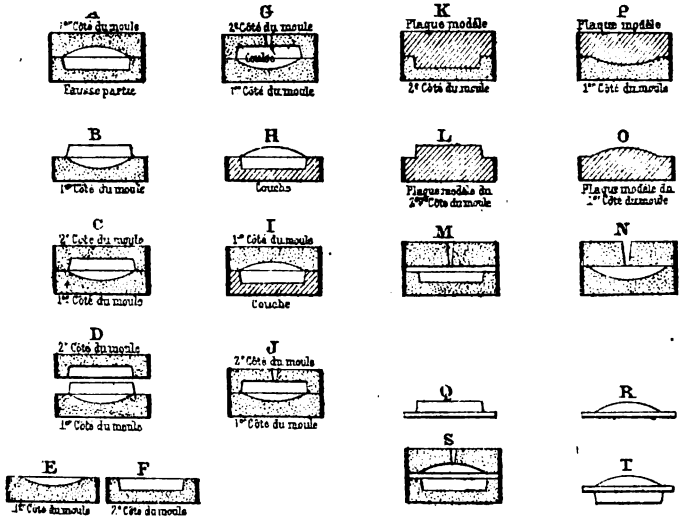
Moulage à la main. — Moulage sur couche.

Comme nous l'avons dit, nous avons l'intention de laisser systématiquement de côté le moulage à la main, mais il est nécessaire pour la clarté de ce qui va suivre de rappeler très succinctement en quoi consiste le moulage en sable.

La figure 1 représente le moulage d'une pièce simple; après

Fig. 1

DIVERSES MÉTHODES DE MOULAGE A LA MAIN



avoir enterré à peu près au joint le modèle dans une fausse partie, on serre un premier côté de moule (A); on retourne et on enlève la fausse partie qu'on casse; on cherche alors le joint avec soin, c'est-à-dire qu'avec les outils ordinaires du mouleur, on lisse le sable jusqu'à l'amener à la ligne de section maxima de façon qu'on puisse ensuite sortir facilement le modèle du sable (B), puis ayant soupoudré le joint d'un isolant pour empêcher le sable de coller, on serre un second côté de moule sur

ce premier (C); on le soulève avec soin aussi verticalement que possible (D) et on retourne le dessus (EF). On enlève le modèle, on répare les parties de sable qui se sont détachées, ce qu'on appelle « raccorder », on taille dans le sable les coulées et les tranches et on referme le moule : la pièce est prête à couler (G).

Il va sans dire que ce cas est le plus simple de la pratique et que l'art du mouleur est beaucoup plus compliqué.

Tout d'abord il est facile de concevoir que l'opération préliminaire, celle qui consiste à chercher le joint n'est pas sans nécessiter un temps relativement important, important surtout si l'on a un grand nombre de pièces à mouler, car alors elle se répète. Le premier perfectionnement réalisé a été de supprimer ce travail en faisant ce qu'on appelle une couche (H).

Supposez qu'au lieu d'être placé sur une fausse partie en sable où il est enfoncé à peu près au joint, le modèle soit placé sur une partie de châssis analogue, mais constituée par une matière plus consistante que du sable ordinaire, telle que du plâtre, de l'argile ou un mélange de sable et de litharge durci à l'huile, et que le joint soit parfaitement déterminé sur cette partie de châssis, on aura ce qu'on appelle une couche; il est facile de comprendre que le premier côté de moule serré sur cette couche donnera la forme exacte du joint. On termine le moule (I) comme ci-dessus en serrant sur le premier côté de moule dans lequel le modèle est en place, un second côté (J). On retire ensuite le modèle qu'on remet en place dans la couche. C'est ainsi qu'on opère toujours en fonte malléable où les commandes varient constamment en genre et en qualité, de sorte que les couches varient de même. La couche est alors en terre glaise ou en sable serré très dur.

Moulage sur plaques. — Plaques modèles.

D'après l'explication que nous venons de donner ci-dessus, la couche est une empreinte dans laquelle des modèles libres se trouvent encastrés à la ligne de joint. Cette méthode est très intéressante pour des pièces minces telles que la sellerie ; elle peut être remplacée par une autre plus avantageuse, lorsque les pièces présentent des dimensions plus grandes. Si l'on prend les deux parties (KP) de moules (EF) obtenues précédemment et que l'on coule sur chacune d'elles, dans un cadre approprié, du plâtre (KP) ou tout autre autre corps du même genre ou encore

que l'on ferme le moule par une partie plate (MN) en laissant une épaisseur et qu'on coule du métal on obtient alors deux plaques modèles (LO ou QR) qui diffèrent de la couche en ce que les modèles sont solidaires dans la plaque modèle et libres dans la couche; ce procédé produit des plaques modèles dites *doubles*, parce qu'il en faut deux pour obtenir un moule.

Il est facile de concevoir une plaque modèle à double face en accolant dos à dos deux plaques modèles; mais on obtient cela plus simplement en fermant le moule obtenu (J) et en laissant entre les deux parties un espace qu'on limite latéralement (S). On constitue ainsi un moule de la plaque modèle à double face que l'on coule en métal, mais généralement de la fonte ou du bronze (T).

En employant les plaques produites comme nous venons de l'expliquer, on obtient un moulage sur plaques. C'est un premier perfectionnement en ce sens que la recherche des joints est supprimée.

Machine à démouler et machine à plaque renversable.

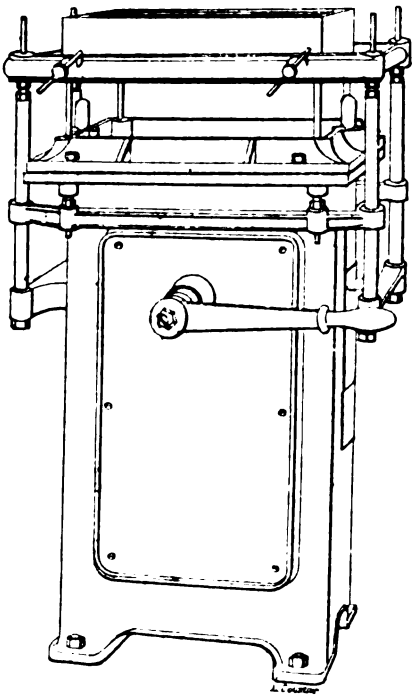
Le moulage sur plaques, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, constitue un progrès important sur le moulage à la main. Cependant il reste encore une difficulté pour retirer le modèle bien droit de façon à éviter des arrachements de sable. Le perfectionnement qui a suivi, la confection des plaques pour le moulage à la main a été la conception d'une machine à démouler dont la fonction n'est autre que de démouler les moules exécutés sur des plaques d'une façon aussi rigoureuse que possible (*fig.*2). Bien entendu, cette machine très éloignée des machines à mouler perfectionnées actuelles, ne répond pas à tous les cas, mais cependant elle a pu rendre de grands services à une époque où ces machines n'étaient pas inventées.

Lorsque les parties délicates du moule se brisent il est très difficile de faire les réparations sur les moules exécutés par cette machine; la raison est que le moule étant levé par le haut, les particules de sable qui se détachent, s'égarent surtout lorsque comme en Angleterre et en Allemagne, le sable manque de corps.

L'idée est venue de démouler à la machine, de la même façon que dans le moulage à la main, la plaque modèle étant en dessus

et le moule en dessous, soit que la plaque modèle se soulève, soit que le châssis descende; c'est là l'origine de la machine à plaques renversables. L'idée est venue naturellement de mettre la plaque modèle à double face et un châssis de chaque côté. Longtemps cette machine a été la plus employée en fonderie et elle a été répandue en un nombre considérable d'exemplaires.

Fig 2
MACHINE A MOULER
A MAIN



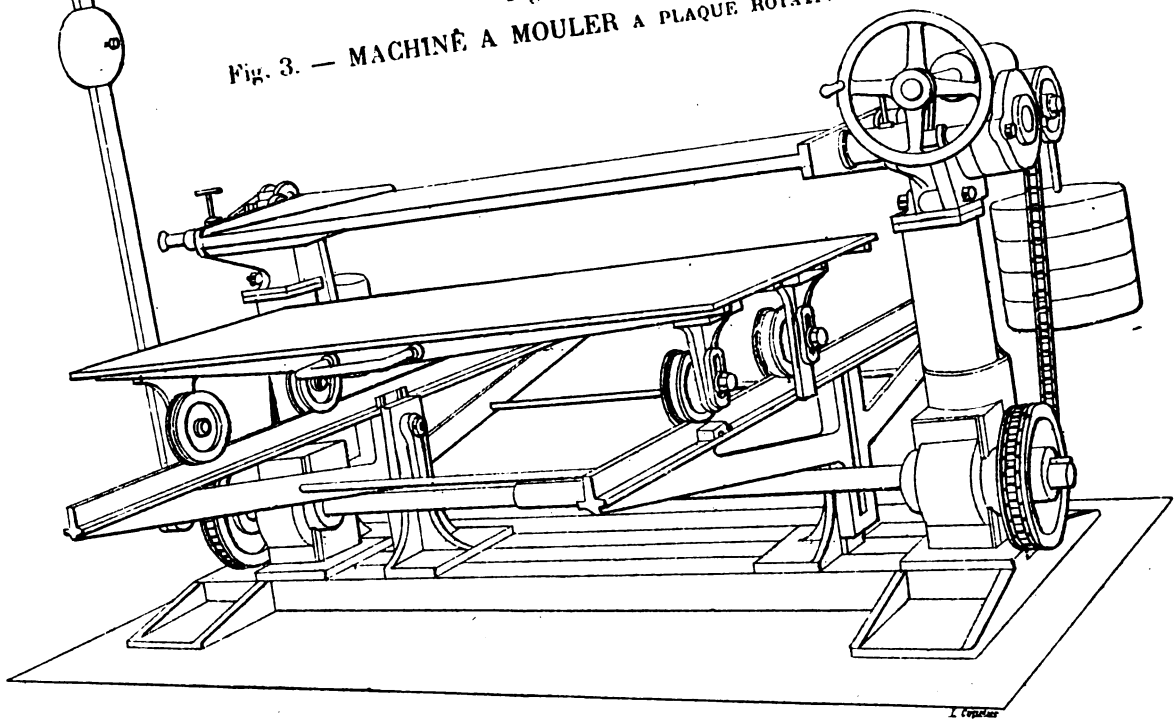
La figure 3 montre une machine de ce genre. Le raccordage des moules fait avec cette machine est plus facile qu'avec la précédente. Le fonctionnement en est le suivant :

La plaque modèle étant maintenue dans la position horizontale par des verrous appropriés, on met un des châssis en place et on le clavette; on le remplit de sable qu'on serre à la main. On soulève alors la plaque modèle et le châssis au moyen du levier qu'on voit à gauche de la figure 3, et par l'intermédiaire du volant qui actionne une vis sans fin commandant une roue hélicoïdale, on fait tourner plaque modèle et châssis de 180 degrés. On verrouille le tout dans une position horizontale et on laisse redescendre sur la table. On met un autre châssis en position qu'on serre comme le premier, puis on répète la même opération. Quand on soulève la table comme on l'a fait tout à l'heure, le démoulage se produit, la plaque modèle montant au-dessus du châssis, on enlève le châssis en tirant le chariot et on raccorde.

Le raccordage dans les moules faits sur cette machine est plus facile que pour les moules faits aux machines précédentes parce que les particules de sable qui se trouvent arrachées retombent soit à leur position dans le moule, soit dans l'intérieur du moule,

Fig. 3

Fig. 3. — MACHINE A MOULER A PLAQUE ROTATIVE



tandis que dans la première machine les morceaux tombent, se brisent ou s'égarent et il est très difficile de les réunir et de les remettre à leur place.

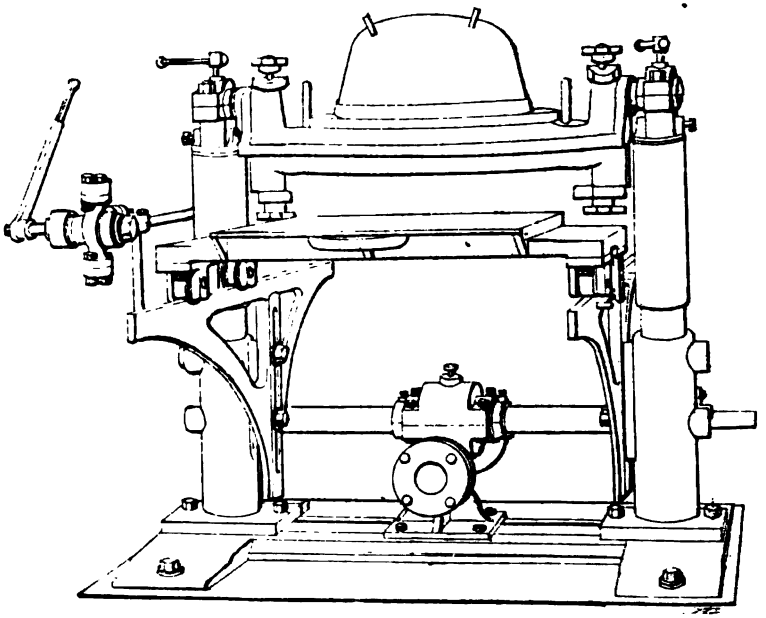
Malgré les grands services qu'a rendus cette machine, il n'est pas difficile de voir qu'elle prête à la critique. Ainsi la fixation des châssis par les clavettes produit toujours un léger déplacement du châssis qui tend à briser le sable. Cette fixation prend du reste un temps précieux ainsi que le blocage de la plaque modèle. Enfin la machine se prête peu à la précision à cause des clavetages, verrouillages et de l'emploi des engrenages et vis sans fin qui doivent être absolument prohibés dans une machine à mouler.

Il n'est pas douteux, en outre, que les deux guides verticaux placés à une grande distance ne sont pas un moyen de guidage précis.

Machines à mouler hydrauliques.

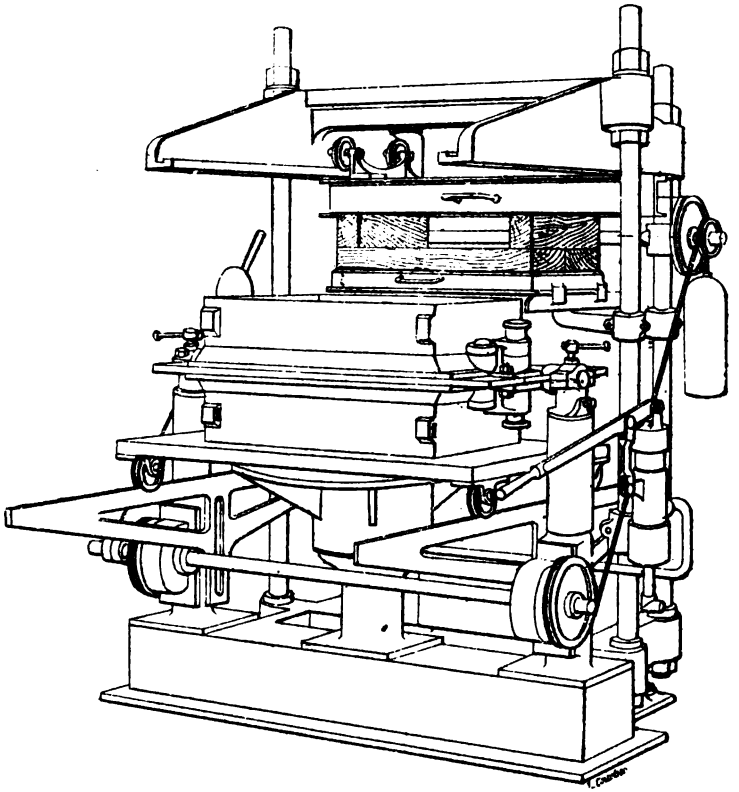
La machine à plaques renversables ci-dessus a été transformée soit pour obtenir le serrage à la main et le démoulage hydrau-

Fig. 4. — MACHINE A MOULER
DÉMOULAGE HYDRAULIQUE



lique, soit pour obtenir le serrage et le démoulage hydrauliques. La figure 4 représente une machine disposée pour le démoulage hydraulique. Remarquons, en passant, la difficulté qui se présente lorsque les pièces ne se prêtent pas au sectionnement à peu près par la moitié. La machine représente une plaque mo-

Fig. 5
MACHINE A MOULER
MOULAGE ET DÉMOULAGE HYDRAULIQUE



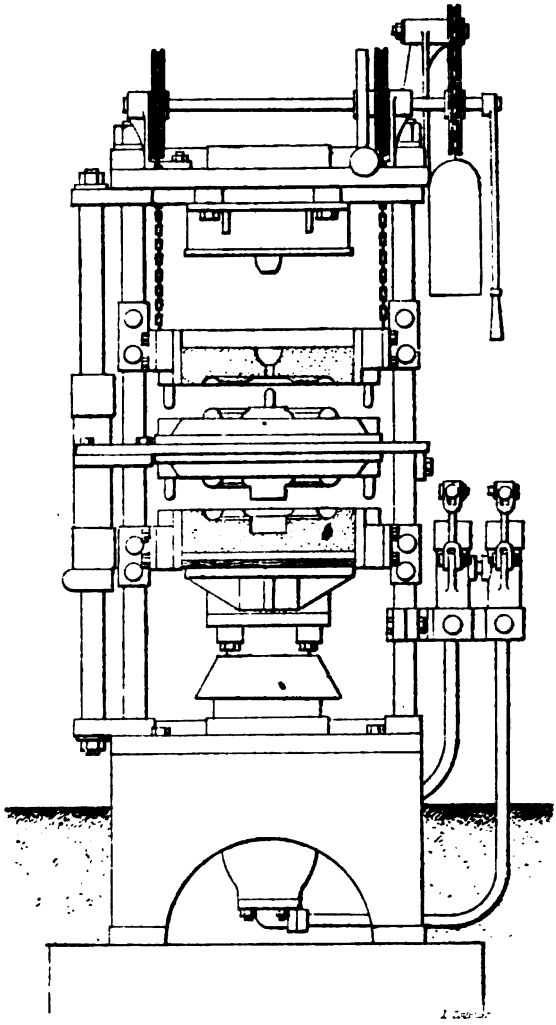
dèle de marmite et on peut se rendre compte aisément qu'il a fallu désaxer le pivot dans la suspension pour faire passer l'axe de rotation par le centre de gravité. Le même cas se présente dans une foule de pièces telles que les cônes de machines-outils et en général des pièces à noyaux.

La figure 5 représente la machine dérivée de celle décrite plus haut avec serrage et démoulage hydrauliques.

Machines à mouler en mottes.

Une autre machine, dite machine à mouler en mottes, inventée en Angleterre par M. Leeder, de la maison de construction de

Fig. 6
MACHINE A MOULER EN MOTTE



machines à coudre Singer, produit un travail plus complet que les précédentes, mais ne convient qu'aux pièces absolument plates et aux très grandes séries. Elle est représentée par la figure 16. La plaque modèle est cette fois, disposée de façon à

pouvoir tourner autour d'une des deux colonnes qui composent le bâti de la machine.

La machine comporte deux pistons hydrauliques concentriques : l'un le plus gros, agissant sur le châssis inférieur; l'autre, le plus petit, agissant sur une plaque ayant une dimension un peu plus petite que celle des châssis employés. On remplit le châssis inférieur, on fait tourner la plaque modèle en position, et on fait reposer sur cette plaque modèle le châssis supérieur que l'on remplit de sable. On fait alors agir le piston le plus gros jusqu'à ce que le châssis inférieur bute sur la plaque modèle, le piston intérieur suit le mouvement. On continue l'élévation du piston le plus gros jusqu'à ce que le sable du châssis supérieur rencontre le sommier placé en haut de la machine. On donne alors la pression dans le cylindre intérieur et il en résulte que les deux parties de châssis sont serrées en même temps. On laisse descendre le piston intérieur, puis le piston extérieur, on arrête le châssis supérieur à un niveau déterminé au moyen d'un arrêt approprié, puis la plaque modèle de la même façon. On fait alors tourner la plaque modèle de façon qu'elle soit en dehors de la machine, on fait descendre le chassis supérieur sur le châssis inférieur après avoir au besoin mis les noyaux en place, on réunit les deux châssis par des moyens appropriés et on introduit l'eau sous pression dans le piston intérieur. Le moule est alors chassé par des châssis et il suffit de le soulever à la main.

Bien entendu cette machine ne s'applique qu'aux pièces simples. Elle présente quelques inconvénients assez graves, en particulier l'impression de la partie inférieure sur la plaque modèle. Cette méthode ne permet pas d'obtenir un serrage convenable des moules, surtout s'il y a des parties verticales.

Cette machine est vite passée d'Angleterre en Allemagne, d'où nous sont venues presque toutes les machines de ce modèle.

Machine à démouler à peignes « Pridmore ».

Une des machines américaines les plus répandues est la machine « Pridmore » (*fig. 7, 8 et 9*). Cette machine est une simple démouleuse retirant le modèle au travers d'un peigne, c'est-à-dire, d'une plaque ajustée enveloppant tout le contour du modèle. Le peigne et les modèles sont obtenus par ajustage et coûtent naturellement très cher.

Fig. 7. — PRIDMORE

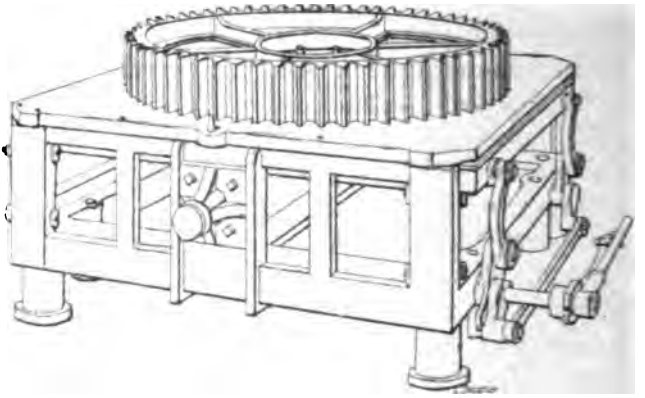
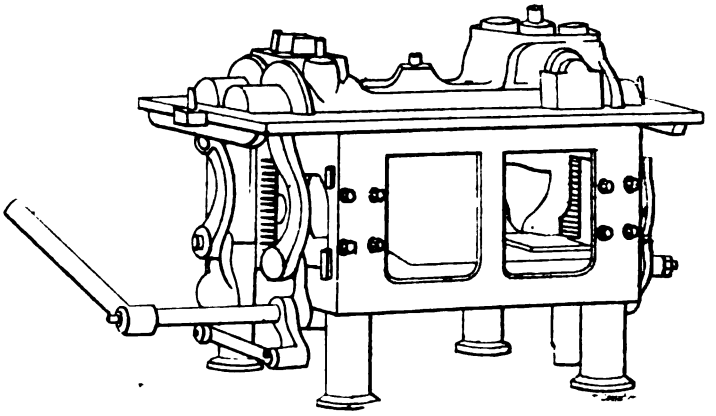
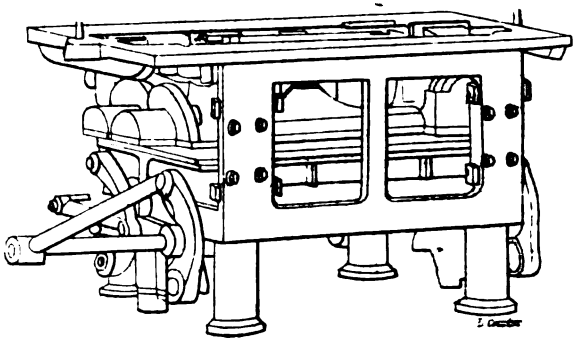


Fig. 8 et 9
MACHINE A MOULER PRIDMORE





Le serrage est fait à la main et on retire ensuite le modèle comme nous l'avons dit au travers du peigne. Dans ces conditions, des pièces très difficiles peuvent être exécutées et on supprime d'une façon complète le raccordage du moule, mais la plaque modèle coûte un prix exhorbitant et il est presque courant qu'une machine « Pridmore » soit exécutée pour une pièce donnée et fournie avec la plaque modèle.

Il est facile de comprendre que les modèles étant placés sur une plaque suspendue à l'extrémité des leviers, toute l'usure se reporte sur la hauteur des modèles qui, en outre, ne sont pas solidement maintenus; par conséquent, cette disposition se prête mal à un serrage mécanique.

Machine à mouler américaine à serrage et démoulage par levier.

Un autre type de machine qui s'est répandu énormément en Amérique, est la machine à serrage et démoulage par levier (*fig. 10*). Nous donnons ici quelques figures de machines de ce

Fig. 10
MACHINE A LEVIER

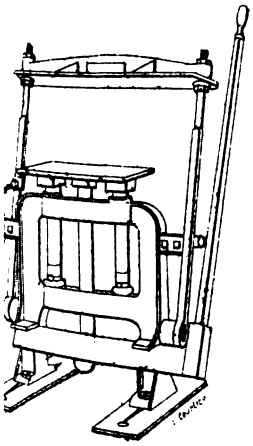


Fig. 11
MACHINE A MOULER A LEVIER 30

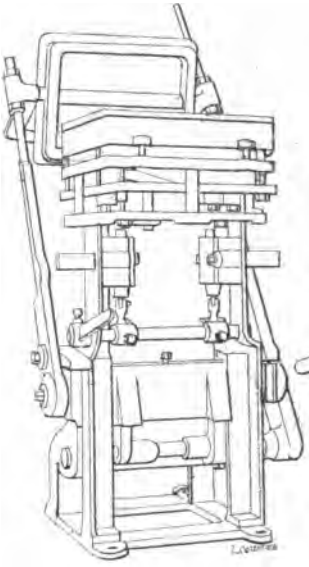
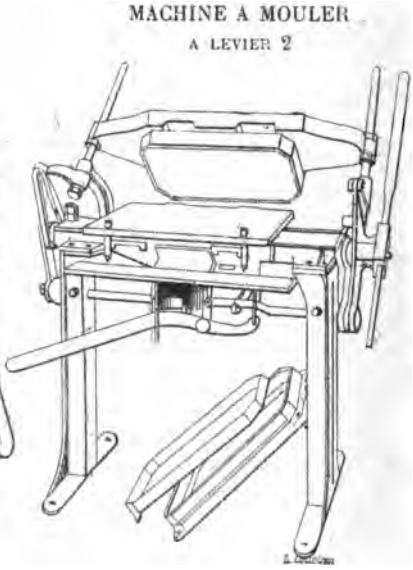


Fig. 12
MACHINE A MOULER
A LEVIER 2



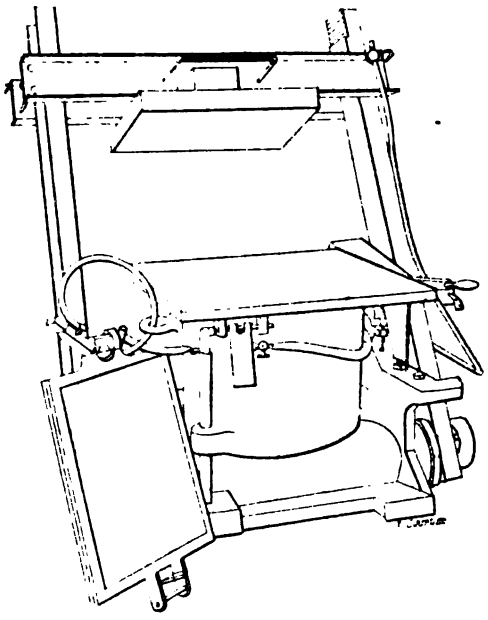
genre. Ces machines ne sont pas un progrès bien important et sont en général construites d'une façon assez peu précise. Elles rendent néanmoins des services pour les pièces faciles que l'on

fait en grande quantité et que des gamins exécutent dans de bonnes conditions sur des machines de ce genre. Leur fonctionnement est facile à comprendre d'après l'examen des figures. En général, elles consistent dans une combinaison permettant de donner le serrage au moule par la force humaine; et le démoulage est obtenu par une combinaison de leviers (*fig. 10, 11 et 12*).

Machine à mouler à air comprimé.

En Amérique, l'agent de compression en faveur est l'air comprimé. Il serait très difficile d'en donner la raison car l'air comprimé est tout le contraire de ce qu'il faut pour la machine à mouler. En effet, l'air comprimé est élastique et se prête très mal au démoulage; s'il y a la moindre résistance, la pression augmente jusqu'au moment où la résistance est vaincue et alors il se produit un choc qui risque de briser le sable. Il faut pour parer à cela avoir recours à des artifices compliqués. De plus, la pression de l'air comprimé étant généralement basse (6 kg environ) on est conduit à des dimensions de pistons très grandes et comme cela ne suffit pas il faut encore frapper en se servant de la machine comme on se sert d'un pilon : il n'y a plus aucun contrôle sur la pression obtenue.

Fig. 13
MACHINE A MOULER TABOR



En outre, la puissance absorbée est très grande : de trois à dix fois celle nécessitée par les machines hydrauliques.

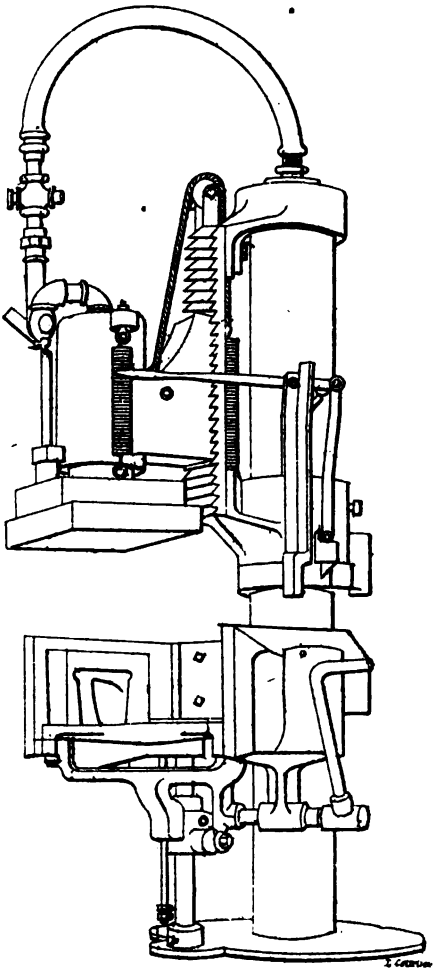
Nous ne voyons pas d'autre raison à l'adoption de l'air comprimé pour les machines à mouler que la fréquence des installations d'air comprimé dans

les fonderies américaines avant l'apparition de la machine.

Les conditions économiques du marché américain sont très différentes des conditions de notre marché et l'économie de force motrice entre beaucoup moins en ligne de compte.

Voici deux vues : une de la machine « Tabor » (*fig. 13*), et une autre de la machine « Paxson Hall » (*fig. 14*). Toutes deux travaillent d'une façon analogue en serrant le sable par choc du piston qui est placé en bas à la machine Tabor, et en haut à la machine Paxson Hall.

Fig. 14. — PAXSON HALL



Le démoulage se fait de différentes façons, mais presque toujours on emploie un vibrateur, c'est-à-dire un appareil qui ébranle légèrement la plaque modèle pendant le démoulage et dont l'utilité est très problématique.

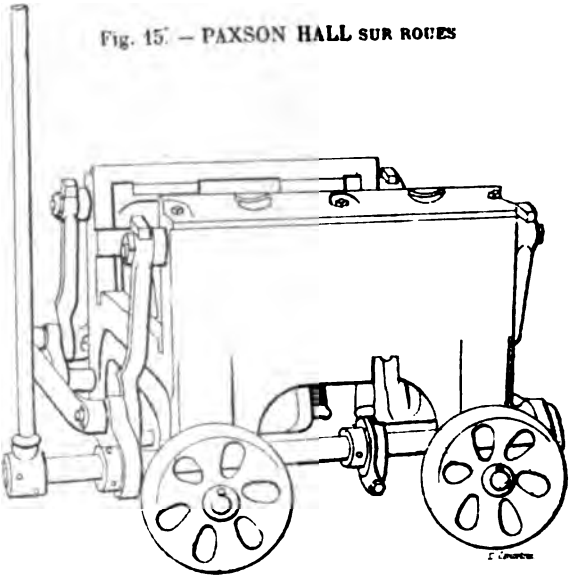
Tantôt ces machines emploient des peignes, tantôt elles n'en emploient pas. On peut constater sur les vues de ces machines les dimensions énormes des pistons.

Démouleuses sur roues.

Un autre type de machine s'est répandu en Amérique : c'est la démouleuse sur roues (*fig. 15*), l'idée étant qu'il y a plus d'avantages à transporter la machine que de transporter le sable et les châssis. C'est une idée discutable qui peut cependant avoir une certaine raison d'être dans des cas déterminés et sur-

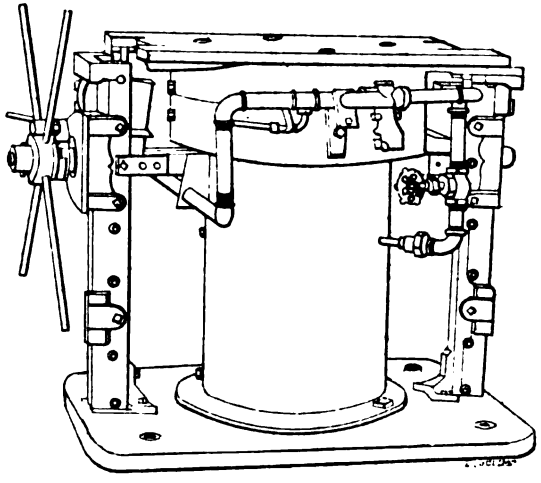
tout lorsque, comme dans les machines en question, le moulage se fait en châssis, particulièrement si la coulée se fait à de longs intervalles. Il est préférable d'établir les machines à poste fixe et de les desservir, si c'est nécessaire, par des moyens d'enle-

Fig. 15. — PAXSON HALL SUR ROUES



vage perfectionnés; mieux encore de faire des coulées fréquentes permettant de nettoyer les chantiers très vite et plusieurs fois dans une journée, et enfin, pour des grosses productions, d'employer un chemin mobile à retour, sur une partie duquel s'effectue le moulage, sur une autre partie la coulée, etc.

Fig. 16. — JARRING MACHINE



Jarring machine.

Les machines de ce type produisent une espèce de secouage du châssis et du sable. Elles produisent quelquefois le serrage.

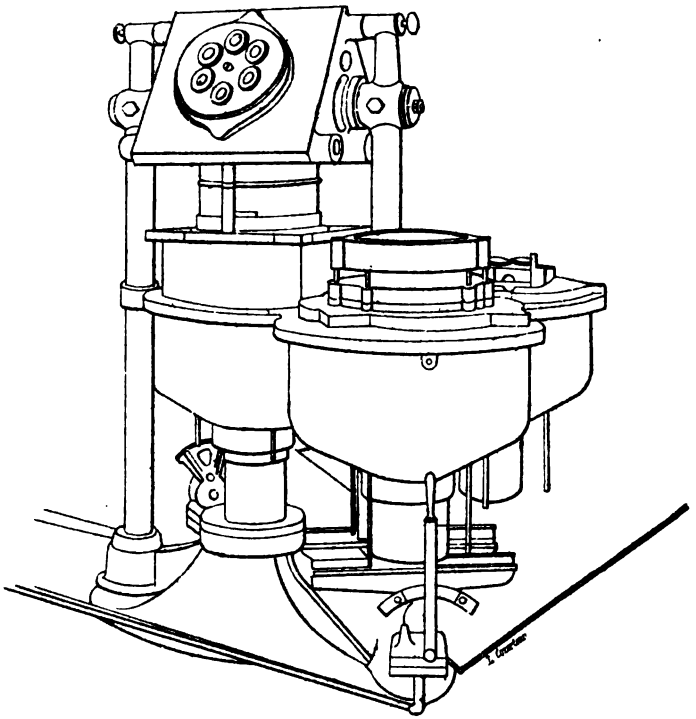
Dans ce dernier cas, le démoulage se fait de différentes façons.

Machine à mouler à six plaques modèles.

La gravure suivante montre une nouvelle machine allemande travaillant sur six plaques modèles à la fois et serrant des deux côtés. Cette machine a été construite par la fabrique royale de Wasseralfingen et elle semble correspondre à une conception et à une idée tout à fait bizarres, et l'un des arguments donnés dans le *Stahl und Eisen (fig. 17)* est que, pour employer avantageu-

Fig. 17

MACHINE A MOULER SUR 6 PLAQUES



sement une machine à mouler, il faut disposer d'un grand espace pour le magasinage. Cela semble indiquer qu'en Allemagne, on a jusqu'ici considéré, lorsqu'une pièce est montée sur la machine, qu'on la laisse longtemps et qu'on met en magasin les pièces exécutées. Cette conception est tout à fait différente de celle que nous avons ici, et nous croyons qu'il y a peu de fondeurs en France, possédant des machines à mouler, qui

soient obligés de mettre leurs pièces en magasin. Nous croyons même que le contraire se rencontre plus fréquemment, c'est-à-dire que les livraisons se font de toute urgence après l'exécution de la pièce. Nous pensons que la machine ci-dessus est une grosse erreur de conception, et tous les mécaniciens savent qu'une machine à tout faire fait quelquefois tout, mais le fait mal. Le meilleur moyen d'aller vite et de bien faire est d'avoir des machines appropriées et travaillant isolément.

Or, comment admettre qu'avec six plaques modèles correspondant à trois genres de pièces au moins, on puisse obtenir des hommes un travail rationnel, rapide, convenable, aussi bien pour un genre de pièces que pour d'autres. Par essence, cette machine se trouve convenir à la pièce plate, ou alors elle retombe immédiatement dans l'inconvénient de toutes les autres machines, mais aggravé considérablement. Ainsi, une pièce à gros noyau, de l'aveu des auteurs, ne peut s'exécuter qu'avec plusieurs machines, les unes faisant les noyaux, les autres faisant les chapes; mais, dans la circonstance, il faut encore exécuter cinq autres genres de pièces différentes, de telle sorte que les difficultés se trouvent triplées.

Examen critique des machines ci-dessus.

Nous avons examiné précédemment, non pas tous les types de machines à mouler, mais quelques-uns des plus connus. Il nous est impossible d'en faire la critique complète et raisonnée, ce travail étant beaucoup trop long; mais nous désirons cependant appeler l'attention sur quelques inconvénients importants et, pour ainsi dire, communs à tous les types de machines décrits.

D'abord, il est facile de voir qu'à chaque machine correspond une dimension de châssis déterminée; cette seule indication suffit à se rendre compte qu'aucune d'elles n'a été étudiée pour la petite série qui, en définitive, est le cas le plus fréquent de la pratique, surtout chez nous. C'est donc avec raison que nos fondeurs n'ont considéré jusqu'ici la machine à mouler comme utilisable que pour les séries de plusieurs milliers de pièces.

Il faut y ajouter et cela peut être vu sans difficulté par les plaques modèles qui sont représentées sur les machines, qu'en général, on n'a considéré que la fabrication des pièces simples. Or, qui ne sait que la pièce difficile en petite série est l'apanage du fondeur? Les exemples sont nombreux et il nous

suffira d'en citer quelques-uns. Prenons un cas que tout le monde connaît : le carter d'automobile. Il n'y a généralement qu'un carter du même modèle par voiture et une série de cent ou de quelques centaines de voitures n'est-elle pas considérée comme une série sérieuse ?

Prenons un autre cas : les constructeurs électriciens emploient dans la fabrication de leurs dynamos bon nombre de pièces simples ou compliquées : le croisillon d'induit, le couvre-fil, les coussinets, les porte-balais, etc. Une série de cent ou de quelques centaines de dynamos est certainement beaucoup plus fréquente qu'une série de milliers de dynamos. Voici deux exemples qui montrent clairement combien les fondeurs avaient raison de repousser la machine à mouler pour le travail courant, puisque les cas sont très rares où il y a une quantité de pièces suffisante pour que l'emploi de la machine soit économique.

On a pu se rendre compte, par les exemples que nous avons passés en revue rapidement, que la question du moulage mécanique est loin d'être simple, puisqu'elle a donné naissance à tant de machines de systèmes différents pour arriver à un même but. Il faut considérer, en outre, que tous les moyens mis en œuvre n'ont pu résoudre jusqu'ici qu'un nombre très restreint de cas, non pas à cause de l'impossibilité absolue, mais, pour ainsi dire, de l'impossibilité relative, parce qu'il ne suffit pas d'une machine à mouler pour faire des moules, il faut encore que cette machine comporte une plaque modèle. C'est l'écueil qui a été jusqu'ici rencontré. Dès que la plaque présente la moindre difficulté, c'est devant sa fabrication que s'arrêtent les meilleures bonnes volontés. Beaucoup de gens se sont trouvés arrêtés par le prix de revient énorme des plaques modèles faites par les anciens procédés, que l'on peut définir en deux mots *en disant qu'elles sont presque toujours métalliques et ajustées dès que la pièce présente un peu de difficulté*. Point n'est besoin de faire remarquer que si elles sont métalliques, c'est-à-dire en fonte ou en bronze qui sont des métaux à retrait, la première chose à faire est d'obtenir un modèle à double retrait; donc impossibilité d'employer le modèle fourni par le client dans une fonderie travaillant à façon, d'où nécessité de refaire un autre modèle. Il en résulte une perte de temps considérable et un prix de revient très élevé, puisqu'au prix du modèle il faut encore ajouter le prix de l'ajustage toujours cher et qui, en outre, ne peut se faire

dans la fonderie. On a bien quelquefois tourné la difficulté en fixant sur une plaque deux moitiés de modèle en bois ; c'était une solution barbare et qu'on ne peut employer qu'occasionnellement, car si le modèle est laissé dans le sable humide, il joue et se déforme comme le modèle fait pour mouler à la main. et s'il ne sert pas souvent, il se déforme encore et donne le même inconvénient. Un autre procédé meilleur et qui a été employé quelquefois avec succès est celui dont nous avons parlé au début, et qui consiste à faire des plaques modèles doubles en plâtre qui, si elles sont convenablement repérées par des goujons, permettent de produire, par la fermeture de deux parties de châssis serrées sur chacune d'elles, un moule complet. Cette méthode est excellente *quand elle peut être employée*. Mais, pour cela, il faut d'abord que les pièces dépouillent bien, sinon le sable s'arrache au démoulage et il faut raccorder. Or, si l'on admet la nécessité d'un raccordage dans le moulage mécanique, il n'a, pour ainsi dire, plus d'intérêt. Il faut aussi qu'il n'y ait pas de parties fragiles, car on comprendra aisément qu'une oreille en plâtre un peu mince n'ira pas bien loin. Pour peu qu'un coup de fouloir maladroit vienne l'atteindre, elle se casse et l'on se trouve arrêté. On a bien aussi essayé de couler les plaques modèles de la même façon en métal sans retrait, mais dans ces conditions le métal retasse, c'est-à-dire produit des creux et des bosses, et le prix de revient est formidable. Jusqu'à ces dernières années, on ne pouvait donc envisager le moulage mécanique que pour des cas relativement rares, pour des pièces de moulage plutôt facile et pour des séries considérables dont l'importance justifiait le coût d'un plaque modèle chère.

Un fait qui montre bien la façon dont le moulage mécanique avait été spécialisé, et que nous avons déjà signalé, est que les machines sont toutes disposées pour une dimension de châssis bien déterminée.

Ces machines font une dimension de châssis et n'en font qu'une, et, pour certaines machines, elle font une pièce et n'en font qu'une. Dans les pays à grand marché, comme l'Amérique, ces machines ont pu rencontrer un certain succès, mais il n'en est pas de même en France où le marché est limité non seulement par les besoins nationaux, mais encore par la répugnance de nos industriels de chercher des débouchés dans l'exportation ; on dit souvent que la nécessité est la mère du génie et,

sans aller aussi loin, il n'y a pas de doute que le besoin crée l'outil et que la machine réellement universelle devait prendre naissance en France. C'est aux ateliers de la Compagnie de l'Ouest, à Sotteville, que, devant les multiples inconvénients présentés par les machines étrangères, M. Huillier, actuellement Ingénieur principal du matériel de cette Compagnie, autorisa les premiers essais de MM. Saillot et Vignerot, ses subordonnés.

Comme toute invention nouvelle, celle-ci commença par très peu de chose, puis des perfectionnements s'ajoutèrent, toujours encouragés par M. Huillier, et aussi par M. Le Chat, Ingénieur des Ateliers de la Compagnie de l'Ouest.

M. Bonvillain, Ingénieur à Paris, prit l'affaire en mains ; des perfectionnements successifs furent apportés et maintenant, non seulement les procédés dérivés de ceux dont nous venons de parler ont pris une extension considérable en France, mais encore ils s'étendent à l'étranger, même dans le pays d'origine de la machine à mouler, l'Allemagne, où plusieurs installations fonctionnent maintenant dans des fonderies qui employaient des machines allemandes en quantité.

Machines à mouler Ph. Bonvillain et E. Ronceray.

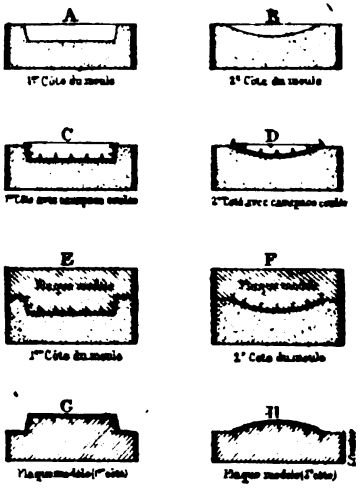
Plaques modèles.

De ce qui a été dit précédemment, on a pu comprendre qu'une partie importante de l'effort s'est portée sur la plaque modèle, laissée volontiers dans l'ombre par les constructeurs de machines à mouler parce qu'elle était l'écueil commercial. La plupart des constructeurs de machines à mouler fournissaient une ou plusieurs plaques modèles avec leurs machines, qu'ils faisaient comme ils le pouvaient, mais qui, dans la plupart des cas, absorbaient le plus clair de leurs bénéfices.

Nous avons exposé succintement, au début de cette étude, la méthode de fabrication des plaques modèles doubles qui nécessitent deux machines pour faire le moule complet : l'une pour le dessus, l'autre pour le dessous. Le premier perfectionnement a été d'abord, au lieu de faire une plaque modèle massive en plâtre ou en métal, d'obtenir, par le tirage d'épaisseur bien connu des fondeurs, une carapace métallique mince, coulée en un métal ayant aussi peu de retrait que possible, et présentant des aspérités à l'intérieur, soit produites pendant le moulage,

soit soudées (CD). Nous avons donc une carapace qu'on vient placer dans le moule préparé pour les plaques modèles avant d'y couler le plâtre (EF). Ce perfectionnement si naïf n'en est pas moins considérable, puisqu'il fait disparaître l'objection due à la fragilité du plâtre (GH). On peut faire en métal blanc les parties fragiles en conservant le plâtre pour celles dont la rupture n'est pas à craindre, mais il reste toujours la crainte d'un arrachement de sable pendant le démoulage *(fig 1, 2, 3, Pl. 124)*.

Fig. 18.
PLAQUES-MODÈLES DOUBLES AVEC CARAPACES



Peignes.

C'est là que M. Saillot a fait faire un pas très important à la question en imaginant le peigne à bon marché. Il y a longtemps qu'on se sert du peigne et qu'il est connu, mais il coûtait cher; donc, ce qu'il fallait, ce n'était pas d'inventer le peigne puisqu'il existait, mais d'inventer un moyen pratique et économique de le faire. Les détails de la fabrication du peigne n'intéressant du reste que superficiellement, il suffit de dire qu'on obtient son moule par un découpage dans le sable, c'est-à-dire par un procédé à la portée du mouleur, ce qui est très important.

Un autre point très important également, c'est qu'étant obtenu par des procédés de fonderie, il n'y a plus nécessité de le faire plan comme lorsqu'il est fait par des procédés mécaniques. En effet, par le procédé Saillot, le peigne épouse la forme du joint et suit les surfaces invraisemblables que l'on trouve en fonderie et, plus particulièrement encore, dans nos pièces françaises. Voici donc expliqué, d'une façon toute superficielle, comment on obtient une plaque modèle double avec carapace et peigne.

Plaques modèles reversibles.

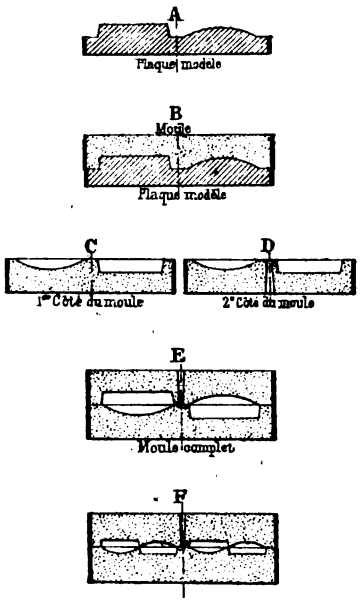
Nous devons maintenant dire deux mots du système de fabrication de plaques modèles reversibles. Il ne faut pas confondre

l'expression reversible, employée dans la circonstance, avec celle de renversable que nous avons employée précédemment pour les machines à plaques rotatives. Voici de quoi il s'agit :

Supposons que, par un artifice quelconque, on ait disposé de part et d'autre d'un axe idéal, les deux parties du modèle, celui qui est au-dessus du joint dans le moulage et celui qui est au-dessous du joint ou, si on veut, à gauche, la partie qui est au-dessus du joint et, à droite, celle qui est en dessous. Supposons que cela a été obtenu, nous verrons tout à l'heure comment on y arrive.

Si nous serrons sur cette plaque modèle deux parties de châssis, nous obtiendrons deux parties de moule exactement semblables. En fermant maintenant le moule, en mettant l'une des parties sur l'autre et faisant coïncider les axes, le côté droit de l'un des côtés du moule viendra sur le côté gauche de l'autre. Nous aurons deux pièces dans le moule, l'une à gauche, la tête en bas et l'autre à droite la tête en haut. En deux mots, voici les avantages du procédé. Avec un modèle, on obtient deux pièces; avec une plaque modèle et, par conséquent, une seule machine en service, un moule complet. Un autre avantage très intéressant à noter dans la circonstance, c'est que, pour la pièce qui a un côté plat ou à peu près plat, on peut placer les pièces d'une façon telle qu'elles se touchent littéralement. La question qui se pose est donc de savoir comment on obtiendra la précision voulue *(fig. 19)*.

Fig. 19
PLAQUES-MODÈLES
RÉVERSIBLES



La précision est obtenue au moyen d'un matériel spécial qui a fait l'objet de perfectionnements successifs et excessivement difficiles à bien exécuter, mais ce matériel une fois construit, le résultat obtenu est indépendant de la volonté, on peut dire presque de la valeur du mouleur qui prépare les plaques mo-

dèles. Une seule qualité lui est nécessaire dans la circonstance, c'est le soin.

Il faut nettoyer scrupuleusement les appareils avant de s'en servir : quelques grains de sable, s'ils s'intercalent à un mauvais endroit, suffisent à fausser les résultats.

Il existe un certain nombre d'appareils accessoires, mais les plus importants sont les deux parties de châssis. Elles sont absolument semblables, ont la forme de demi-cercles et portent des trous disposés d'une certaine façon.

Voici comment on opère. Ces parties de châssis, ouvertes sur le côté, sont fermées par une plaque que l'on boulonne. Ceci forme un châssis demi-rond. On moule à la façon ordinaire en mettant un ou plusieurs modèles dans ce châssis, en cherchant le joint comme d'usage, puis enlevant la plaque de fermeture que l'on remplace par une plaque de largeur double, on met le second châssis sur le premier, on boulonne à ce châssis la plaque, on serre une autre partie de châssis. C'est, en définitive, un moule ordinaire fait avec des demi-châssis. Cela fait, on enlève la plaque de fermeture et on ouvre le moule. On pose à côté de la première partie de châssis la seconde, c'est-à-dire le dessus à côté du dessous; cela équivaut à la rotation autour d'une charnière idéale et commune aux deux parties de chassis A.

Il est facile de comprendre que, dans ces conditions, la précision est absolue. Tout ce qu'il s'agit de déterminer ensuite, c'est le repérage des trous des goujons par rapport à la ligne imaginaire de rotation et c'est l'affaire du constructeur du matériel qui, certainement, ne l'obtient pas sans peine, mais enfin qui l'obtient.

Cela fait, il n'y a plus qu'à terminer comme la plaque modèle double que nous avons vue ci-dessus, avec ou sans carapace, avec ou sans peigne *(fig. 4, 5 et 6, Pl. 124)*.

Matériel de clichage.

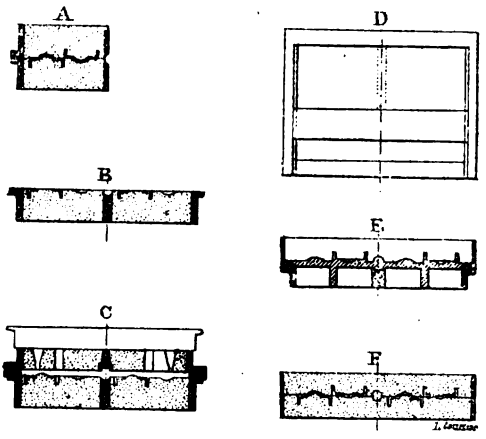
Avant de passer aux machines de moulage proprement dites, arrêtons-nous un instant à ce que nous avons appelé le matériel de clichage, qui dérive du système de plaques modèles reversibles, mais réunit encore d'autres avantages.

Le matériel de clichage permet d'obtenir, par le procédé reversible que nous venons d'expliquer succinctement, non plus des plaques modèles complètes, mais des portions, des fractions de plaques modèles, qui sont serrées dans une table appelée table

à clichés, de façon à ce que ces clichés soient rigoureusement repérés par rapport aux goujons de la table et que la réunion d'un certain nombre d'entre eux forme une plaque modèle complète d'une longueur et d'une largeur constantes. La table à clichés, qui devient une véritable plaque modèle, est alors de dimensions fixes et de composition variable. Il suffit de réfléchir un instant pour reconnaître les avantages énormes de cette disposition. Elle permet de travailler toujours dans un chassis relativement grand avec une plaque modèle très bon marché, (car le cliché peut être fait avec une rapidité invraisemblable) tout en ne perdant jamais une pièce. Quand une commande est finie sur un cliché, on l'enlève et une minute après on peut travailler avec la plaque modèle, dont le cliché a été remplacé par un autre. C'est donc la possibilité d'exécuter à la machine des commandes d'une importance quelconque, de 10 pièces à 10.000 pièces, sans faire pour cela de pièces inutiles à garder en magasin. Comme on le voit, c'est l'opposé du système dont nous avons parlé tout à l'heure et dont l'auteur considère que l'inconvénient de la machine à mouler est de nécessiter des magasins énormes.

Voici comment on fait un cliché *(fig. 20)* : Le châssis, au lieu d'être semi-circulaire, comme celui que nous avons examiné tout à l'heure, est rectangulaire pour les besoins de la cause. La plaque de fermeture est supprimée pour une raison accessoire, comme on le verra par la suite, et l'on fait avec ces deux parties de châssis un moule de la pièce ou des pièces à reproduire (A). On ouvre le moule, on met les deux parties de châssis l'une à côté de l'autre, on les boulonne (B) et à partir de ce moment l'opération change. Au lieu de terminer la plaque modèle comme ci-dessus, voici comment on opère. On place sur les deux parties de châssis, que l'on vient d'ouvrir et de placer à côté l'une de

Fig. 20. — CLICHAGE



l'autre, un cadre d'épaisseur déterminée qui porte des feuillures latérales; dans les feuillures de ce cadre coulisse une plaque que l'on met dans des positions différentes, suivant la longueur du cliché à faire (D). Ceci fait, on serre une partie de châssis à plat dans un châssis spécial et on réserve les coulées (E, F). On charge le moule ainsi formé et l'on coule. Il est aisé de comprendre que le métal prendra, en-dessous d'abord, la forme du joint, ensuite celle du modèle ; en-dessus, la forme qu'on aura donnée à la partie du chassis supérieur et enfin partout ailleurs la forme des parties métalliques qui complètent le moule. Les côtés communs sont creusés en-dessous en forme de quart de rond et la réunion des deux forme un demi-rond. Les feuillures dont nous avons parlé tout à l'heure servent à faire des feuillures correspondantes sur le cliché. La plaque coulissante limite de l'autre côté la longueur du cliché. Quant à la plaque supérieure, elle porte à son centre une rainure à laquelle correspond une languette sur le cliché. On obtient donc ainsi une plaque d'une épaisseur rigoureusement égale à l'épaisseur du cadre employé, portant d'un côté, au centre, une languette qui servira pour la repérer sur la table à clichés, de l'autre côté un demi-rond qui produira une demi-rainure. La réunion de deux moules faits sur le cliché formera, par la réunion des deux rainures demi-rondes, une coulée centrale ronde. De ce côté, outre le joint et les tranches de la pièce, on aura l'empreinte du modèle et latéralement des feuillures qui serviront à fixer le cliché sur la table. Enfin, comme le châssis qui a servi à finir l'opération a une épaisseur exacte et égale à celle de la table à clichés, si on a pris soin de percer de place en place des trous et de les couvrir par une plaque droite, ces trous formeront des béquilles qui empêcheront le cliché de fléchir sous la pression, au cas où l'épaisseur serait découpée à cet endroit. Il n'y a pas besoin de dire que cette opération, qui semble relativement longue à expliquer, est très courte à exécuter. Le plus long de tout, ce serait de faire le moule de début, et l'on peut dire d'une façon générale que la fabrication d'un cliché prend a peu près deux fois le temps du moulage ordinaire de la pièce considérée. Ainsi donc, s'il faut dix minutes pour faire le moule à la main d'une pièce déterminée, on peut dire qu'en trois quarts d'heure un cliché de cette même pièce sera terminé et qu'une heure après avoir reçu le modèle on pourra mouler ces pièces à la machine *(fig. 7 et 8, Pl. 124)*.

Machines à mouler à vis Ph. Bonvillain et E. Ronceray.

Puisque nous avons examiné succinctement les divers systèmes de plaques modèles que nous employons de façon courante, nous passerons à la description des machines qui, bien qu'elles puissent employer les plaques modèles de tous genres, ont été surtout créées en vue de l'application des plaques modèles que nous avons dû vous décrire malheureusement d'une façon trop succincte, mais dont quelques particularités vous seront encore signalées ultérieurement.

Laissons de côté les premières formes de machines que nous avons créées pour n'examiner que les derniers modèles. Le modèle du type V. 4 *(fig. 9, Pl. 124)*, se compose d'une table reposant sur le sol par un pied et dans le milieu de laquelle est alésé un cylindre. Cette table porte en son milieu un grand trou et dans le cylindre en question fonctionne un piston recevant à la partie supérieure un plateau de démoulage. A la table est fixée une colonne à l'extrémité de laquelle peut tourner une traverse, munie à son milieu d'une vis et d'un fort volant et à l'autre extrémité d'un crochet; la vis comporte un plateau inférieur, le plateau de serrage.

Voici comment fonctionne la machine : on met sur la table une plaque modèle. Au plateau de démoulage sont fixées quatre chandelles, supportées par des coulisses réglables, qui sont de même réglables en hauteur. Les chandelles sont disposées de façon à enlever les coins des châssis s'il n'y a pas de peigne ou le coin du peigne s'il y en a un. On met le châssis sur la plaque modèle, on place le sable après avoir mis la rehausse, qui permet d'ajouter la quantité de sable supplémentaire de façon que le châssis soit à peu près exactement plein après le serrage; on produit le tassement du sable en effectuant le serrage au moyen de la vis, on desserre la vis, on tourne la traverse, on enlève la rehausse; il ne s'agit plus maintenant que d'opérer le démoulage qui, comme nous l'avons dit, est dans une certaine mesure la partie la plus délicate de l'opération. Le cylindre inférieur communique avec un autre cylindre latéral de dimensions plus petites et, muni d'un piston portant à son extrémité un champignon ; ces deux cylindres sont remplis d'eau et l'opération de démoulage s'effectue tout simplement en appuyant sur la pédale.

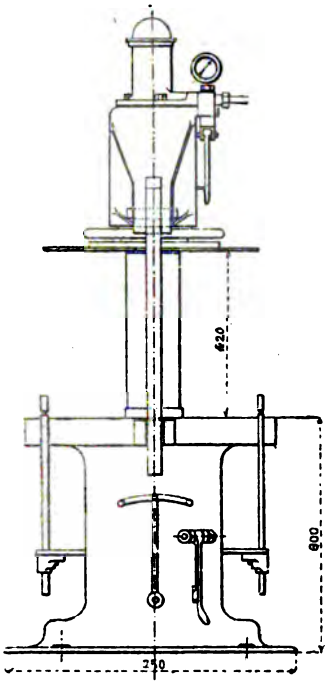
On se rend aisément compte des avantages de ce système, qui supprime d'un seul coup les organes mécaniques dont nous avons parlé et qui coûte par conséquent beaucoup moins cher à établir et est entièrement réfractaire à l'usure et aux petites difficultés de toutes sortes que l'on connaît quand on a employé des organes mécaniques fonctionnant dans le sable d'une fonderie.

Machines hydrauliques (modèle A) Bonvillain et Ronceray.

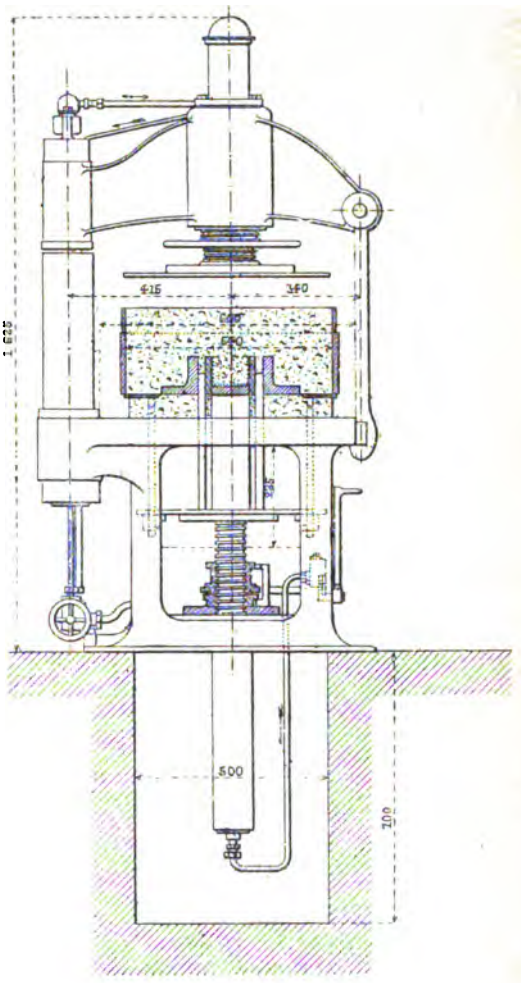
Nous allons maintenant décrire les machines hydrauliques (*fig. 21*). On reconnaîtra facilement la grande similitude qui existe entre la machine à main et la machine hydraulique; c'est la même disposition générale, avec cette différence que la vis supérieure est remplacée par un piston. C'est, croyons-nous, la seule partie qui mérite une description spéciale. Au centre de la traverse est alésé un cylindre au-dessus duquel un cylindre plus petit se trouve placé. Dans ce groupe de deux cylindres en tandem fonctionnent deux pistons de diamètre différents réunis par une tige. Le piston supérieur est destiné à faire le rappel du gros piston lorsque le cylindre de serrage est à l'échappement. Le cylindre de serrage, comme son nom l'indique, sert à donner la pression; un manomètre permet de contrôler la pression donnée. Des vis télescopiques rentrent dans le piston de serrage. Le but de ce dispositif est de permettre de varier à volonté la hauteur disponible sur la machine et, par conséquent, d'employer des plaques modèles et des châssis de hauteur variable en dépensant toujours le minimum d'eau sous pression. Il a fallu employer la vis télescopique parce qu'il fallait loger un allongement important dans un espace très restreint et que la variabilité de hauteur des plaques modèles est assez grande. L'opération est faite comme précédemment, à très peu de chose près. La plaque modèle est mise sur la table et elle est supportée en son milieu, si c'est nécessaire, par des barreaux amovibles. Comme on le voit, les chandelles destinées à la levée des châssis sont réglables de façon à permettre d'employer toutes les formes et dimensions des châssis dans des limites raisonnables et de varier la hauteur pour toutes les hauteurs de plaques modèles qui peuvent se présenter. Le châssis en mis en position, une rehausse est ajoutée pour contenir la quantité de sable voulue, de façon à ceque le sable occupe le volume entier du châssis après serrage la traverse mise

Fig. 21. — MACHINE A MOULER A - 1903

Vue de face



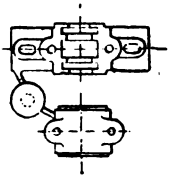
Vue de côté



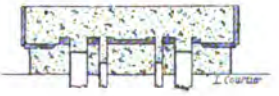
Vue en plan

Coupe de la motte

Plan de la pièce après la coulée



Couche inférieure



en position, le crochet mis en place et la pression donnée. Dès que la pression voulue est atteinte, on arrête. Le manomètre qui mesure la pression donnée au moule n'avait jamais existé sur aucune machine jusqu'au jour où nous l'avons adopté ; si étrange que cela paraisse, c'est sans aucune mesure que la pression était donnée et les hommes du métier peuvent dire que dans ces conditions il n'y avait rien de surprenant à ce que l'on trouvât beaucoup de pièces mauvaises. Il est absolument nécessaire de régler la pression que l'on donne suivant les dimensions du moule, on peut dire même suivant les formes de la pièce ; on ne serre pas, par exemple, un moule de robinet à bride comme on serre un moule de plaque de fourneau.

Pour continuer, on met la pression du cylindre principal à l'échappement ; ce piston est rappelé ; on ouvre la traverse ; on enlève la rehausse et l'on procède au démoulage, qui se fait comme dans la machine précédente, mais hydrauliquement au lieu de se faire par la simple pression du pied. La figure 10, pl. 124, montre une machine hydraulique pendant l'opération de serrage.

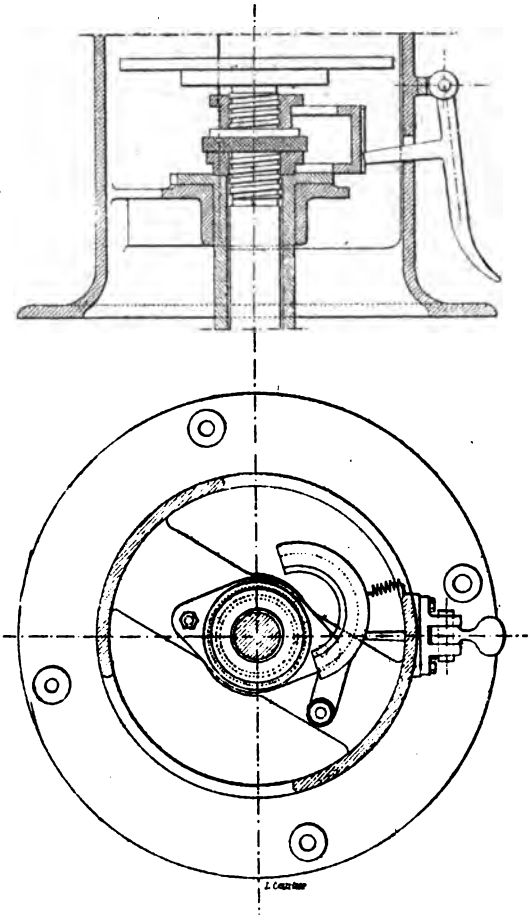
Deux perfectionnements importants ont été apportés récemment à cette machine sur la méthode que nous venons de décrire : l'un, que l'on appelle le double serrage, l'autre la rehausse tournante.

Double serrage.

Le double serrage *(fig. 22)* consiste à donner, pendant que le moule est sous pression, un serrage ou pression supplémentaire sur une certaine partie de moule par-dessous, telle que les noyaux verticaux ou quelque autre partie du moule. Quand une partie du moule ne reçoit pas une pression suffisante par-dessus, n'est pas atteinte, comme disent en terme de métier les mouleurs (cela veut dire que le sable au fond du trou dans lequel doit se faire le noyau n'a pas reçu la pression et est trop fragile), si, dans ces conditions, une pression supplémentaire est ajoutée par-dessous, ce défaut disparaît et le noyau est bien serré. On dispose alors le piston de démoulage de façon à recevoir à la partie supérieure un embrèvement qui sert de point d'accrochage pour un demi-collier ; un écrou, mobile sur une vis taillée sur le piston de démoulage, possède un épaulement correspondant. En venant mettre le demi-collier de telle façon qu'il s'agrafe dans

l'embrèvement du bas et serve de butée à l'épaulement supérieur, si on admet la pression, le piston de démoulage et, en conséquence, les dépoussoirs de noyau qui reposent dessus, montent d'une quantité dépendante du réglage qu'on a fait et la longueur des noyaux est donc rigoureusement déterminée. Il y a lieu, bien entendu, lorsqu'on a fait cette opération, de laisser entre les chandelles et les coins de châssis ou du peigne un jeu équivalent à la course du double serrage Ce perfectionnement est d'une importance relative, dans le cas ou l'on a peu de noyaux dans le moule ; car alors on ne peut les serrer à la main sans perdre beaucoup de temps. Mais dès que le nombre de noyaux augmente, le bénéfice devient considérable. Ainsi, la Compagnie du P.-L.-M. a exécuté avec nos machines des tiroirs de locomotives dans lesquelles il y a un grand nombre de trous de régulage. Ces tiroirs étaient exécutés pleins et les trous percés ensuite au foret, puis enfin agrandis au fond et régulés. Par l'emploi de notre machine, on a supprimé le perçage au foret de 106 trous, ne laissant à faire au foret que l'agrandissement du fond.

Fig. 22. — DOUBLE SERRAGE



Inutile de dire que dans la circonstance, l'économie de moulage mécanique n'a pas été seulement de 80 à 90 0/0 sur le prix du moulage à la main, comme d'habitude, mais elle a été de beau-

coup supérieure au prix de ce moulage à la main, puisqu'un travail d'usinage a été supprimé de ce fait. Le perçage de 106 trous dure certainement plus d'une heure et le moulage des tiroirs de locomotives à la machine ne prend pas dix minutes.

Rehausse tournante.

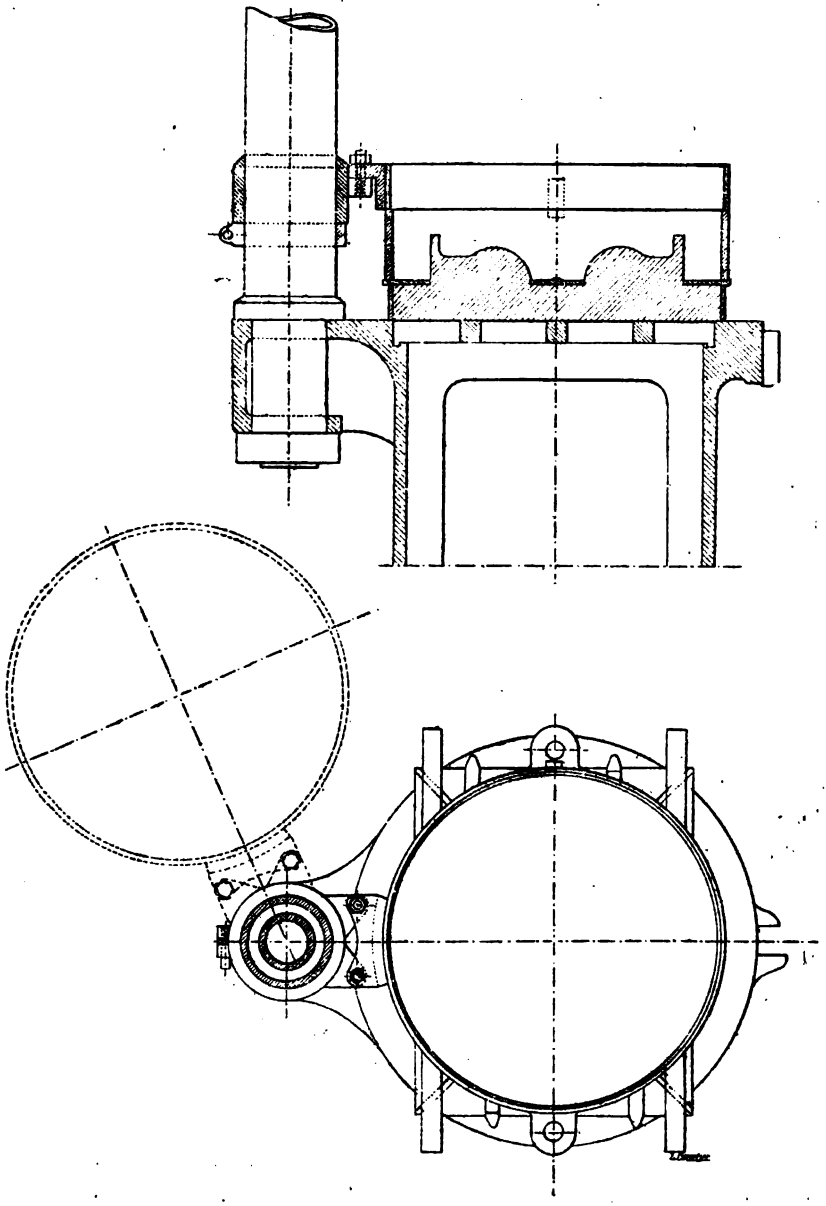
Le second perfectionnement récent, appelé la rehausse tournante *(fig. 23)*, est capable de produire une économie de quelques secondes seulement pour chaque partie de moule, mais cette économie se répète toute la journée, toute l'année, pour chaque partie de moule faite à la machine et cette économie arrive en réalité, en fin de compte, à un chiffre important. Voici en quoi consiste la rehausse tournante :

La colonne de la machine est tournée cylindrique sur toute sa hauteur; un collier réglable en hauteur sert de butée à une douille libre sur la colonne ; à cette douille viennent se fixer les différentes formes de rehausses correspondant aux différentes formes de châssis que l'on peut employer sur la machine. Une butée fixée sur la rehausse vient limiter sa position par rapport au châssis. Comme on le voit, c'est très simple. Voici comment cela fonctionne :

Lorsque le châssis est placé sur la plaque modèle, on fait tourner la rehausse tournante à la main et sa butée vient l'arrêter juste à sa place au dessus du châssis sur lequel elle laisse un jeu de 2 à 3 mm environ. La traverse étant tournée en position, on donne la pression comme d'habitude et on met à l'échappement. Puis, sans attendre que le plateau de serrage soit remonté au-dessus de la rehausse tournante, on tourne la traverse qui entraine la rehausse. L'ouvrier s'inquiète de faire immédiatement son démoulage, mais pendant ce temps quelque chose se termine du côté de la traverse et de la rehausse tournante : le piston continue à monter jusqu'au moment où il passe au-dessus de la rehausse tournante, qui se trouve ainsi libérée et prête à être remise en place au-dessus du châssis. Quand l'ouvrier a terminé son moule et mis un autre châssis sur la machine, il n'est donc plus obligé de se mettre à la recherche de la rehausse, qu'il peut avoir placée à un endroit plus ou moins variable, suivant sa méthode. Il l'aura immédiatement sous la main à la hauteur voulue et un geste très rapide lui suffira pour la remettre en place. Le bénéfice peut être certainement de 30 à 40 secondes

par moule, mais il ne faut pas oublier que, vu la rapidité obtenue, ce chiffre prend une importance énorme ; si quelques moules

Fig. 23. — REHAUSSE TOURNANTE



très rares demandent des quarts d'heure, le plus grand nombre demandent des minutes et quelques-uns des secondes. Notre

machine (A. 5), par exemple, avec rehausse tournante et distributeur de sable, dont nous allons parler tout à l'heure, produit une partie de moule en 25 ou 30 secondes. Cela montre l'importance de gagner 30 secondes sur une partie de châssis (*fig. 13. Pl. 124*).

Machine à assembler et démotter, système Bonvillain et Ronceray.

Cette machine a été créée pour être employée en conjugaison avec les machines à mouler ci-dessus.

Le démottage (*fig. 11, 12, Pl. 124*) qui n'était employé qu'exceptionnellement, a pris avec cette machine une extension considérable, surtout avec de bons sables, et s'applique pour ainsi dire à toutes les pièces pouvant tenir aisément dans une dimension raisonnable que nous avons fixée par expérience à 540 mm de diamètre, à moins que des raisons de coulée ne la fassent écarter. Elle convient en outre admirablement pour effectuer sans tâtonnement la fermeture des moules de pièces hautes, minces et difficiles.

La machine se compose d'un socle sur lequel est fixé un cylindre dans lequel se meut un piston portant à sa partie supérieure un plateau. Deux supports à fourche placés de part et d'autre du plateau et à des distances rigoureuses, portent en leur milieu des goujons correspondant à l'écartement des goujons de châssis. Enfin, les fourches portent des butées placées dissymétriquement par rapport à l'axe longitudinal de la machine et disposées de telle façon que les mêmes châssis qui portent également des butées dissymétriques, échappent les butées des supports lorsque le joint est en haut, et les rencontrent, au contraire, quand le joint est en bas. Deux verrous complètent la machine, en permettant de bloquer à volonté le châssis supérieur, et enfin le châssis inférieur repose par ses oreilles sur deux tiges munies de contrepoids réglés pour céder sous le poids d'un châssis plein de sable et rester suspendu sous le poids d'un châssis vide.

Voici comment fonctionne la machine : le plateau étant placé en haut, on apporte la partie de châssis inférieure qu'on vient de mouler sur une machine à mouler voisine; on laisse descendre le piston, le châssis s'engoujonne et son poids étant supérieur à celui du contre-poids, il descend en entraînant les

tiges d'équilibrage. On apporte la seconde partie de châssis qui vient se placer exactement sur les goujons, mais ne peut descendre puisqu'elle rencontre les butées ; on bloque les verrous.

Il faut remarquer que les deux châssis sont rigoureusement repérés l'un par rapport à l'autre, en position par les trous qui sont venus se placer dans les goujons et en niveau : le châssis inférieur parce qu'il repose sur la plaque qui est parfaitement dégauchie avec la machine, le châssis supérieur par les quatre butées prévues à cet effet. Si l'on fait maintenant monter le piston, les deux châssis s'assemblent d'abord, puis le mouvement continuant et le châssis supérieur ne pouvant monter, le sable se trouve chassé des châssis; une plaque de tôle qu'on a pris soin de mettre sur le plateau de démottage permet d'enlever la motte et de la transporter.

A remarquer que le châssis inférieur suspendu par les tiges n'est pas tombé et est par conséquent très facile à enlever de la machine. Voici quelques avantages du démottage : d'abord l'économie du matériel, puisque deux paires de châssis suffisent à travailler une journée complète et même une année ; économie de main-d'œuvre, du fait que le décochage est fait excessivement rapidement, puisqu'il suffit de renverser la motte sens dessus dessous et que d'autre part il n'y a pas nécessité de ramener les châssis du chantier de coulée au chantier de moulage, ce qui n'est pas une petite affaire lorsque deux machines ont travaillé pendant toute une journée entière. On peut ajouter encore économie d'espace, due à la suppression du parc aux châssis.

Si on coule en châssis, l'opération s'effectue exactement de la même façon, sauf qu'on ne bloque pas le châssis supérieur avec les verrous.

Distributeur de sable, système Bonvillain et Ronceray.

Nous avons parlé précédemment de la machine A. 5. avec rehausse tournante et distributeur de sable (*fig. 13, Pl. 124*), mais nous n'avons pas décrit ce dernier appareil. En un mot, voici la raison pour laquelle nous avons établi ce distributeur de sable.

Certains moules très exceptionnels, comme nous l'avons dit, tels que les carters à deux et quatre cylindres d'automobiles,

demandent quelquefois des quarts d'heure pour leur exécution; mais il y a un grand nombre de cas où la pièce est relativement simple et peut être fabriquée à la machine rapidement.

Prenons par exemple le cas d'un sabot de frein ou d'un palier. Les hommes du métier vous diront que le palier et le sabot de frein sont deux choses absolument différentes. C'est vrai. A la main, pour faire un sabot de frein et surtout pour en faire beaucoup, lorsque les hommes ont l'outillage voulu, cela va relativement vite. A la main, sans outillage particulier, il faut de 15 à 20 minutes, et à la main avec un outillage perfectionné on peut descendre jusqu'à 10 minutes; quant aux paliers, il faut bien de 30 à 45 minutes. Eh bien, à la machine, on fait de 20 à 30 sabots à l'heure, c'est-à-dire qu'on en fait un en deux minutes. On fait presque autant de paliers et cela, bien entendu, avec le distributeur de sable dont nous avons parlé. On comprend aisément que cela serait à peu près impossible si les hommes devaient remuer et jeter à la pelle la quantité considérable de sable qui entre dans un nombre aussi important de moules. Autrement dit, la rapidité du moulage à la machine a créé la nécessité de trouver un moyen de remplir les châssis mécaniquement. Il existe bien des systèmes de distribution plus ou moins compliqués consistant en trémies à manche de toile, mais en dehors des installations importantes que cela nécessite, le mouvement n'est pas simple et laisse encore place au remplissage inégal des châssis. Or, dans la circonstance c'est un grave défaut, car l'homme qui travaille vite doit avoir tous ses mouvements réglés mécaniquement. Voici en quoi consiste le distributeur de sable.

Le principe en est très simple, mais la mise au point a été très longue. Une trémie montée sur des pieds est placée à côté de la machine; cette trémie est remplie d'une façon quelconque qui dépend des conditions locales; en général, nous recommandons le remplissage par le pont roulant, desservant le hall où sont les machines et desservant de temps en temps une benne dans la trémie.

Sur le côté de la trémie se trouve un support portant à son extrémité un pivot. Une boîte montée à l'extrémité d'un bras tourne à la main autour du pivot, de façon à venir se placer alternativement sous la trémie et au-dessus du châssis, le pivot étant disposé en conséquence. La trémie et la boîte sont fermées par des plaques coulissantes. Le tout est disposé de façon que lorsque la boîte vient sous la trémie, elle ouvre automatique-

ment le fond de cette trémie. Lorsqu'on tire ensuite la boîte, le fond de la trémie se ferme automatiquement et le fond de la boîte reste fermé. Si on continue le mouvement, la boîte vient alors se placer au-dessus de la machine. Au moment où elle rencontre une butée convenablement disposée à cet effet sur la machine, elle s'ouvre et laisse tomber le sable contenu dans la boîte dans le châssis. Quand on tire ensuite, la boîte se ferme automatiquement. On continue l'opération en poussant la boîte sous la trémie de façon à la remplir à nouveau ; tout ce que l'ouvrier a à faire est de tirer la boîte placée sous la trémie pour la pousser au-dessus de la machine et sans attendre une seconde, de tirer la boîte en arrière pour revenir la placer sous la trémie, soit un quart de cercle décrit une fois dans chaque sens. La capacité de la boîte est variable et réglable suivant les cas.

Nous avons vu précédemment qu'avec l'adjonction de cet appareil, il était possible de faire avec la machine A. 5. un moule en 30 secondes. En effet, ce chiffre est obtenu facilement, bien entendu, sur des pièces plates, mais la garantie que nous donnons n'est que de soixante parties de châssis à l'heure sur une table à clichés. En admettant des châssis de 540 × 360, pour serrer à la main de tels châssis, il faut compter une moyenne de 8 à 12 minutes. L'économie est donc de 90 0/0 en moyenne.

Machine universelle G. M.

En dehors de la machine du type universel que nous avons décrit, il a fallu créer des machines de modèles différents (*fig. 14, Pl. 124*). La fabrication des grosses pièces que nous abordons maintenant sans hésiter, telles que les carters aluminium d'automobiles à quatre cylindres, les grosses pièces en fonte telles que les voussoirs de tunnel du Métropolitain, les chaufferettes de voitures à voyageurs, les pièces de raccord pour conduites d'eau, les bornes-fontaines, les gros robinets à brides, les becs de gaz, ont nécessité la création de notre machine G. M. Ce qui distingue cette machine de la précédente, c'est la suppression complète de toute partie fixe pour supporter la plaque modèle, cette partie fixe étant remplacée par une table inférieure au-dessus de laquelle se meut le plateau de démoulage ; ce dernier est percé d'un certain nombre de trous placés à des intervalles déterminés et comporte des échancrures dont on verra

d'ailleurs l'usage. La plaque modèle est supportée non par une table de forme rigide, mais par des supports glissants dans les échancrures du plateau de démoulage.

Des supports à colonnes coiffés de plateaux ronds ou étoilés, sont disposés pour supporter la plaque au point où il n'y a pas de dépoussoirs à poser. En définitive c'est une table de forme et de disposition variables, ce qui est très utile pour les pièces auxquelles cette machine est destinée, puisque ces pièces peuvent varier à l'infini comme forme et comme noyaux.

Machine rotative, système Ph. Bonvillain et E. Ronceray.

Nous allons décrire enfin une machine toute récente, mais dont le champ d'action paraît devoir s'étendre dans d'assez grandes proportions : c'est la machine dite rotative (*fig. 15 et 16, Pl. 124*). Il semble que nous devions retomber dans la machine que nous avons examinée au début, c'est-à-dire de celles dans lesquelles on fait tourner la plaque-modèle et le châssis, mais le rapprochement n'est qu'apparent.

En dehors des raisons pour lesquelles on a besoin de cette rotation dans les machines déjà étudiées, celles de la facilité de démoulage et de la possibilité de raccorder les particules de sable qui se détachent et qui ainsi ne sont pas perdues, il existait pour nous une autre raison puissante qui est la suivante : Lorsqu'on fait le démoulage de la pièce à gros noyau sur une machine de notre type universel, tout va bien en général puisque les noyaux sont supportés par un peigne quand c'est nécessaire, mais il faut enlever le châssis et le retourner et alors la partie lourde du noyau risque fort de se détacher pendant l'enlevage et le retournement du moule. Il est concevable que le sable qui est lourd et d'une consistance réduite, tendra à se détacher du moule ; en définitive on pourra bien démouler, mais on ne pourra ni enlever le châssis, ni le retourner ; pour obvier à cette difficulté, on noie dans le sable des armatures ou crochets qui relient la masse du noyau au moule proprement dit, et lorsque le sable est peu consistant, on emploie des barres à profusion. Cela se fait couramment même dans le moulage à la main et il n'y a là aucune espèce de difficulté. Mais cette opération qui paraissait toute naturelle et indispensable dans le moulage à la main, est devenue fastidieuse dans le moulage mécanique

en raison de la répétition et de la courte durée du moulage. Nous nous sommes donc attachés à supprimer l'influence due au poids de la partie noyau en retournant le moule et la plaque modèle, mais nous n'avons pas voulu abandonner pour cela les avantages de nos machines et de nos procédés et perdre le bénéfice du peigne et des dépoussoirs de noyau. Nous n'avons pas voulu non plus conserver l'inconvénient que nous avons signalé au début et qui consiste à claveter les châssis aux plaques-modèles. Cette opération de clavetage, outre le temps précieux qu'elle perd, provoque des ruptures. Voici ce que nous avons fait : nous avons fait de nos machines des machines universelles, puis nous avons tout simplement suspendu le tout autour d'un pivot horizontal. Nous faisons le moule comme d'habitude, puis pendant que le moule est sous pression, nous faisons tourner la machine et nous démoulons. C'est très simple comme on le voit. Nous avons commencé par faire une petite machine de ce genre. Le succès dépassa nos prévisions et cette idée que nous n'avions osé envisager que dans de petites proportions, prend une grande importance, et il se trouve maintenant des machines de ce genre occupées à la fabrication des carters d'automobiles, de la boîte à graisse, de la marmite, du réservoir de chasse, etc., et elle sera bientôt appliquée à la fabrication de pièces d'une importance beaucoup plus considérable telles que les chaudières de buanderies, des bâtis de métiers de filatures, etc.

La nécessité d'exécuter des pièces de plus en plus grandes, nous a conduits à adopter une disposition pour faire fonctionner la machine par la pression hydraulique, et il y a actuellement en construction des machines de ce genre pour exécuter des pièces ayant jusqu'à 3 m de longueur, par environ 1 m de largeur.

CONCLUSION

L'étude très succincte que nous venons d'exposer, se borne, nous l'avons dit, à une partie très restreinte de l'art du fondeur ; il n'en est pas moins certain que les progrès réalisés dans cette partie ont une importance énorme au point de vue du prix de et des résultats industriels qui en découleront pour notre pays.

Il est évident que nous n'avons pu exposer la question que dans ses grandes lignes, et qu'il y a une foule de détails et de

procédés que nous ne pouvons faire toucher du doigt qu'en étudiant l'affaire dans ses moindres détails.

Ceci montre bien quels progrès considérables il y a à réaliser dans cet art de la fonderie, malheureusement si délaissé. Nous croyons qu'il y a là un champ d'action merveilleux pour les Ingénieurs qui ont laissé de côté jusqu'ici cette branche fort intéressante de l'industrie. La question des sables, par exemple, n'a jamais été traitée d'une façon scientifique et n'a jamais donné lieu à des études expérimentales fort sérieuses, de même de ce qui se passe dans les moules, et par conséquent les rapports de la constitution des moules avec la coulée, de la nature du métal à choisir pour tel ou tel cas, et ainsi de suite.

Il n'est pas exagéré de dire que l'art du fondeur repose encore actuellement sur l'empirisme et les idées plus ou moins erronées des contremaîtres et des ouvriers.

Nous souhaitons ardemment que cette branche de l'industrie reçoive des Ingénieurs toute l'attention qu'elle mérite. Nous espérons que notre appel sera entendu et que la science et l'industrie françaises n'auront rien à envier sous ce rapport aux industries étrangères.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

Ernest ZUBER

PAR

M. A. MALLET.

Parmi les pertes que la Société des Ingénieurs Civils de France a eu à enregistrer depuis le commencement de cette année, nous devons signaler celle qu'elle a éprouvée dans la personne d'Ernest Zuber, décédé le 29 mars dernier, et nous croyons remplir un devoir en consacrant ces quelques lignes à rappeler la carrière bien remplie d'un collègue distingué qui fut notre camarade de promotion.

Zuber, né en 1838 à Rixheim, dans le département du Haut-Rhin, avait fait ses études à Strasbourg et était entré à l'École Centrale, d'où il sortit en 1858 avec le premier diplôme dans la spécialité des mécaniciens. Si nous ajoutons qu'il avait trouvé moyen de passer avec succès les épreuves de la licence ès sciences pendant son séjour à l'École, nous donnerons la mesure de ses remarquables aptitudes et de ses facultés de travail.

Le jeune Ingénieur entra, peu après sa sortie de l'École, comme associé dans la maison Zuber, Rieder et C^ie^ à l'île Napoléon, près Mulhouse: il s'y mit rapidement au courant de la fabrication du papier dans laquelle cette ancienne et importante maison s'était acquis une réputation méritée, et ne tarda pas à devenir une autorité reconnue dans cette industrie; il lui apporta de sérieux perfectionnements dont il dota successivement l'usine mère et des usines établies plus tard par sa maison, celle des Pins et celle de Torpes dans le département du Doubs, dont il fit des fabriques modèles.

L'importance de ses occupations comme chef d'une grande maison industrielle, n'empêcha pas notre collègue de consacrer une partie considérable de sa vie à des entreprises d'utilité publique et à des institutions humanitaires et philanthropiques.

Entré dès 1865 à la Société Industrielle de Mulhouse, il ne tarda pas à y jouer un rôle actif; il fut successivement secrétaire-adjoint et secrétaire des séances, membre, puis président des Comités de Mécanique, d'Utilité publique et des Beaux-Arts et

de diverses commissions, puis enfin vice-président de 1870 à 1888 et de nouveau depuis 1895. Il fournit en outre à la Société des travaux personnels remarquables, parmi lesquels nous citerons, d'après les paroles prononcées sur la tombe de Zuber au nom de la Société Industrielle : une conférence sur le métal argent, une note sur la situation des vieux ouvriers, une sur les caisses d'épargne scolaires, et un remarquable rapport fait en collaboration avec M. Steinlen, sur l'industrie des États-Unis à l'Exposition de Philadelphie

Zuber fit partie de la Chambre de Commerce de Mulhouse et fut aussi Président de la Société des Arts dont il avait été le principal organisateur depuis sa fondation en 1876 : il a grandement contribué à la prospérité rapidement acquise par cette Société, prospérité qui a eu une influence décisive sur la création et le développement du Musée dont la Société Industrielle a doté la ville de Mulhouse.

Mais le titre de gloire le plus incontestable d'Ernest Zuber est la part prépondérante qu'il a eue dans la fondation et la direction de l'Association Alsacienne des Propriétaires d'Appareils à vapeur, créée il y quarante ans. On connaît les services rendus par cette institution, la première établie sur le continent, non seulement dans son fonctionnement propre, mais surtout peut-être par l'exemple qu'elle a donné et qui a conduit à la création de nombreuses associations du même genre, dont l'intervention dans la production de la force motrice a amené, au point de vue de l'économie et de la sécurité, les résultats les plus considérables pour l'industrie. On peut dire qu'une grande partie de l'existence de Zuber a été consacrée à l'Association Alsacienne, et on ne saurait apprécier trop hautement les services qu'il lui a rendus et, par cela même, à l'industrie en général. Nous ne saurions oublier de rappeler qu'il fut dignement secondé dans cette tâche par un autre de nos collègues, mort il y a peu de temps, le regretté Walther Meunier, Ingénieur en chef de l'Association.

Zuber n'était entré dans notre Société qu'en 1899; il n'avait donc pas eu le temps de signaler sa présence parmi nous, comme nous étions en droit de l'espérer, par quelque communication qui n'eut pas manqué d'être remarquable. Les regrets que nous manifestons ici pour la perte de l'Ingénieur distingué, de l'industriel éminent et de l'homme de bien que fut notre collègue, n'en sont pas moins profonds.

CHRONIQUE

N° 318.

Sommaire. — La catastrophe de San-Francisco *(suite et fin)*. — Les nouveaux paquebots transatlantiques. — Chemin de fer mixte à crémaillère et à adhérence d'Ilmenau à Schleusingen. — Les industries électriques. — Emplois industriels de l'alcool en Allemagne.

La catastrophe de San-Francisco *(suite et fin)*. — Nous avons dit que les moyens de communication avaient eu à souffrir du tremblement de terre survenu dans une partie de la Californie le 18 avril. Ainsi plusieurs tunnels sur la partie de la côte méridionale du Southern Pacific se sont effondrés, arrêtant le trafic au sud de San-José. Il s'est produit de nombreux éboulements dans les tranchées et à flanc de coteau. Un phare s'est écroulé à Point-Arena et un autre à Fort-Bragg. Les lignes télégraphiques au sud et au nord de San-Francisco ont été interrompues et 24 heures après l'événement, peu de lignes télégraphiques en Californie étaient en état de fonctionner. Le câble sous-marin d'Hawaï qui aborde sur la côte ouest de San-Francisco n'a subi aucun dommage, contrairement à ce qui avait été dit tout d'abord. La construction qui abrite la sortie du câble de la mer a été endommagée, mais non détruite ; elle a servi pendant deux jours de station terminus jusqu'à ce qu'on ait rétabli la relation avec le réseau général.

D'autres travaux d'art d'importance considérable, mais qui ne se rattachent pas aux moyens de communication, ont également souffert, nous voulons parler de divers barrages et de lignes de distribution d'eau de grande longueur telle que celle qui amène à San-Francisco l'eau de la Spring Valley, les lignes électriques à haute tension qui alimentent San-Francisco et d'autres villes et les deux grandes formes sèches de l'arsenal de Mare Island situé à 30 km de la capitale. On n'avait pas encore de nouvelles détaillées, mais il semble que les deux formes dont l'une est en maçonnerie et l'autre en béton n'ont pas eu beaucoup de mal. Les transmissions électriques dont nous venons de parler, qui s'étendent dans toutes les directions autour de San-Francisco, traversent les districts les plus éprouvés ; dans ces transmissions figure la ligne qui franchit d'une seule portée de 1270 m le détroit de Carquinez près de Port-Costa.

La question qui présente l'intérêt le plus immédiat est l'état des barrages des réservoirs dans les districts atteints par le tremblement de terre. On n'a pas encore de détails à ce sujet, mais le fait qu'on a pu rétablir en partie le fonctionnement de la distribution d'eau de San-Francisco et celui qu'il n'a pas été signalé d'inondations, laissent à espérer que ces travaux n'ont pas éprouvé de dommages sérieux.

Jusqu'ici nous ne nous sommes occupé que des conséquences du tremblement de terre ; il nous reste à parler de l'incendie qui a éclaté à

San-Francisco dans le quartier de Market Street et dans celui de la Mission moins d'une demi-heure après les secousses ; il paraît que trois heures après des centaines de constructions étaient en flammes et que l'incendie se propageait avec rapidité. Le feu aurait éclaté sur trois points distincts et ces trois foyers se seraient rejoints pour en former un seul de très grande étendue. Les conduites ne donnant plus d'eau, les pompes à incendie étaient de peu d'utilité, ne pouvant s'alimenter qu'à la mer qui, dans le point le plus rapproché, était à plus de 3 km du feu. Le seul moyen de combattre l'incendie était de faire sauter à la dynamite des pâtés de maisons pour former des espaces vides assez larges pour empêcher l'incendie de se transmettre. Le vent soufflait de l'est directement en travers de la ville, donnant ainsi au feu près de 6 km d'espace bâti devant lui. Jeudi 19 dans l'après-midi, les autorités décidèrent de tenter de limiter la conflagration à la Van Ness Avenue, voie de 27 m de largeur placée en travers de la marche de l'incendie. Comme on n'avait plus de dynamite, épuisée par les opérations de la veille, on abattit avec l'artillerie et avec du coton-poudre et de la poudre noire quinze ou seize pâtés de maisons sur un des côtés de l'avenue. Ce travail n'aurait pas réussi à arrêter les progrès de l'incendie, car les flammes traversaient déjà la trouée ainsi pratiquée, lorsque, fort heureusement, le vent tourna brusquement à l'ouest et refoula bientôt le feu sur le quartier déjà ravagé.

La ville de San-Francisco n'avait pas de pompes flottantes, malgré sa grande étendue le long de la mer et la nature combustible de beaucoup de constructions des quais. On dut recourir aux remorqueurs de la Commission du port, des Chemins de fer et du Gouvernement. Les pompes de ces bateaux et celles de la Ville purent préserver en grande partie les bâtiments placés à portée, par exemple le State Ferry House au bas de Market Street. Ce point était d'une importance capitale, comme centre des communications télégraphiques et téléphoniques avec le reste du monde.

Le feu, refoulé comme nous venons de le dire le jeudi soir, était finalement vaincu le dimanche 23 et dans la nuit une très forte pluie, la première depuis le tremblement de terre, achevait de noyer les débris en flammes.

Dans toute l'étendue où l'incendie a exercé ses ravages et dont la superficie peut être évaluée à 18 km², on ne peut guère citer comme ayant été préservés que la Monnaie des États-Unis, les ateliers de la Western Electric C° et deux ou trois autres édifices, ce fait doit être attribué à ce que ces bâtiments possédaient des alimentations d'eau indépendantes et à ce qu'il a été fait des efforts extraordinaires pour les sauver. Parmi les bâtiments détruits sont des bureaux, des hôtels, des magasins et des maisons d'habitation occupés par les classes moyennes et recherchées à cause de la salubrité du quartier.

Les enseignements qu'on peut tirer de l'incendie au point de vue technique ressemblent beaucoup à ceux qui viennent de l'incendie de Baltimore ; on peut estimer toutefois que la température atteinte dans le premier n'a pas été aussi élevée qu'à Baltimore, effet qu'on peut attribuer en partie au mode de combustion sans flamme de certains

bois largement employés dans les constructions à San-Francisco. Ainsi le Call Building a eu toutes ses boiseries brûlées dans la partie inférieure tandis qu'elles sont restées intactes aux étages supérieurs. Il sera du reste difficile de tirer des conclusions bien définies de l'incendie de San-Francisco parce que le feu a fait son effet après que le tremblement de terre avait déjà éprouvé les constructions et la part qui est due à chacun de ces fléaux ne pourra souvent pas être nettement établie.

Toutefois, dans un autre article, le journal auquel nous avons emprunté ce qui précède indique sommairement quelques conclusions qu'on peut tirer, au moins provisoirement, de cette grande catastrophe.

La première, que des événements avaient déjà permis de formuler, est que l'existence de toute grande ville aux États-Unis (et aussi ailleurs) est absolument dépendante de son alimentation d'eau. Non seulement la suppression momentanée de cette alimentation amène une gêne et une souffrance pour les habitants et une perte pour l'industrie, mais c'est une question de vie ou de mort en cas d'incendie. Il ne faut pas perdre de vue en effet que les villes des États-Unis ne sont pas construites comme celles de l'Angleterre et du Continent. S'il existe dans les grandes cités de l'Union des édifices construits suivant les prescriptions de la science moderne au point de vue de la résistance au feu, il y a encore une énorme quantité, 99 0/0 peut-être, de maisons bâties suivant les vieillle méthodes avec murs en pans de bois et charpentes de même matière, San-Francisco notamment peut passer pour une ville construite généralement en bois et si les bois de la côte du Pacifique sont, comme on l'a vu plus haut, moins inflammables que le sapin qui entrait dans la construction de la ville de Chicago avant l'incendie, la différence au point de vue de la combustibilité n'est pas grande.

Un autre point qu'on peut noter avec satisfaction est que, dans la catastrophe dont nous nous occupons, malgré la violence extrême des secousses qui renversaient les meubles dans les appartements, l'immense majorité des édifices construits avec des charpentes en acier n'ont pas éprouvé de dommages sérieux et ont même pu continuer à être occupés, malgré les dégâts causés par l'incendie; c'est une épreuve décisive en faveur de ce genre de construction si on considère que les ravages du tremblement de terre se sont fait sentir sur les constructions de type inférieur dont la chute a fait beaucoup de victimes.

Enfin le peu d'effet des secousses sur les travaux d'art, réservoirs, barrages, etc., dans les voisinages de San-Francisco et la manière dont se sont comportées les deux formes sèches de Mare Island, ne paraissent pas donner grand appui aux arguments que certains avaient, au lendemain de la catastrophe de San-Francisco, voulu en tirer contre l'établissement d'écluses au Canal de Panama.

Ces derniers ouvrages ont en effet une très grande analogie avec les formes sèches qui semblent avoir subi victorieusement l'épreuve d'un tremblement de terre de violence exceptionnelle.

Les nouveaux paquebots transatlantiques. — Le 7 juin 1906 a été mis à l'eau des chantiers de MM. John Brown et Cie, à Cly-

debank, le premier des deux grands transatlantiques commandés par la Compagnie Cunard pour le service rapide entre Liverpool et New-York, transatlantiques qui doivent, comme on sait, réaliser une vitesse régulière de 25 nœuds. Le premier a reçu le nom de *Lusitania* et le second, en construction aux chantiers Swan, Hunter, Wigham Richardson, sur la Tyne, celui de *Mauritania*.

La Compagnie Cunard a l'habitude, qui remonte à son origine même, de donner à ses navires des noms de pays ou de provinces se terminant en *a*. La presse anglaise et surtout américaine a montré quelque étonnement de ce que les armateurs aient porté leur choix sur des noms très ordinaires et a exprimé le désir de voir des navires ayant manifestement pour objet de faire une révolution dans la navigation transatlantique, porter des noms plus caractéristiques, ceux de *America* et *Europa*, par exemple. La Compagnie ne s'est pas laissé persuader et c'est sous le nom de *Lusitania* que le premier paquebot a été lancé et vient d'entrer en armement. On espère qu'il sera dans un an à pareille époque prêt à faire ses essais et à ouvrir, par sa mise en service, une nouvelle ère à la navigation transatlantique.

Le paquebot allemand *Kaiser-Wilhelm-II* ayant, comme on sait, réalisé une vitesse régulière en service de 23,5 nœuds (1), il s'agit d'augmenter cette vitesse de 6.5 0/0, ce qui permettra de gagner 8 heures sur le trajet d'Europe aux États-Unis. Il semble, au premier abord, que le but à remplir n'est pas en rapport avec les moyens employés, mais on se tromperait fort si on ne voyait dans la construction des nouveaux paquebots d'autre objectif que celui que nous venons de signaler ; il y a encore l'étude de problèmes scientifiques d'un grand intérêt et, avant tout peut-être, la poursuite de satisfactions d'amour-propre dans un domaine spécialement populaire en Angleterre.

Nous avons indiqué dans la chronique d'avril 1904 les principales particularités des nouveaux navires, alors en projet seulement. Nous compléterons plus loin ces renseignements d'après les chiffres donnés par les journaux anglais à l'occasion du lancement du *Lusitania*, mais auparavant il nous paraît intéressant de donner quelques chiffres sur les modifications que le problème de la réalisation d'une vitesse de 25 nœuds amène dans les proportions des navires.

Il y a vingt ans, le rapport de la puissance au déplacement était, pour la vitesse de 20 nœuds de 1,38, c'est-à-dire qu'il fallait 1,38 ch pour la propulsion de 1 t de déplacement. Il y a dix ans, pour la vitesse de 22 nœuds, il fallait 1,66 ch par t ; aujourd'hui, pour 25 nœuds, on arrive à un rapport de 1,8. La puissance totale a passé, pour un accroissement de vitesse de 25 0/0, de 14 000 à 68 000 ch, c'est-à-dire qu'elle aura subi une augmentation de 400 0/0.

On a abaissé, il est vrai, la consommation de combustible de 25 0/0, mais, malgré cette importante réduction, la quantité de combustible brûlé pour franchir la distance entre Liverpool et New-York, a augmenté dans le rapport de 1 900 à 5 000 tonnes.

(1) Ce paquebot a même réalisé pendant 24 heures, du 17 au 18 juin 1904, la vitesse extraordinaire de 24,35 nœuds représentant un parcours de 584 milles marins.

Nous empruntons à l'*Engineering* le tableau suivant donnant les consommations et les éléments de la puissance des paquebots de la Compagnie Cunard de 1840 à ce jour et présentant les principales étapes des progrès réalisés par la navigation transatlantique.

DATES ET NOMS DES PAQUEBOTS	*BRITANNIA* 1840	*PERSIA* 1856	*GALLIA* 1879	*UMBRIA* 1884	*CAMPANIA* 1893	*LUSITANIA* 1907
Combustible pr voyage t	370	1 400	836	1 900	2 900	5 000
Chargement	224	750	1 700	1 000	1 620	1 500
Nombre de passagers.	115	250	320	1 225	1 700	2 350
Puissance indiquée. .	710	3 600	5 000	14 500	30 000	68 000
Pression effective aux chaudières	0,64	2,30	5,30	8,50	11,50	14,00
Charbon par cheval indiqué heure . . .	2,30	1,70	0,85	0,85	0,725	0,66
Vitesse en service . .	8,50	13,10	15,50	19,00	22,00	25,00

On conçoit que, dans ces conditions, le déplacement des paquebots ait subi un accroissement continu et considérable, comme le fait voir le tableau ci-dessous :

Il y a vingt ans, pour	20 nœuds	10 500	tx de	placement.
» dix ans	» 22 »	18 000	»	»
» cinq ans,	» 23,5 »	26 000	»	»
Aujourd'hui,	» 28 »	38 000	»	»

Le *Lusitania* a 239,40 m de longueur totale, 231,80 de longueur entre perpendiculaires, et 26,80 m de largeur, ce qui donne un rapport de 8,63 entre la longueur et la largeur. Ce rapport a été adopté à la suite d'expériences faites sur des modèles, dans un bassin d'essais, alors qu'il y a dix ans, on donnait au *Campania*, de la même Compagnie, un rapport de 10, et à quelques paquebots allemands à grande vitesse celui de 9,5; la question de l'installation des propulseurs et surtout des turbines n'a probablement pas été étrangère à cette augmentation de largeur. Pour le tirant d'eau, on est arrivé au chiffre de 10,07, alors qu'on n'avait pas encore dépassé jusqu'ici celui de 8,85 m. Ce tirant d'eau considérable est favorable à l'effet des propulseurs, mais il est certain qu'il limite le champ d'action de ce modèle de navire qui ne saurait fréquenter que des ports particulièrement favorisés.

On a naturellement pris pour la construction de la coque des dispositions propres à lui assurer la plus grande rigidité et la sécurité la plus complète. Elle est établie suivant le système à double fond ; les deux parois étant écartées au centre de 1,52 m. Nous n'insisterons pas sur les détails dans une note aussi succincte, nous contentant de dire, à titre de curiosité, qu'il est entré dans la construction de la coque environ

4 millions de rivets du poids total de 500 t ; on a employé pour le bordé, des tôles allant jusqu'à 12 m de longueur.

Le navire dont nous nous occupons sera mû par quatre hélices et six turbines dont deux pour les arbres placés sur les côtés, et quatre pour les arbres du centre, deux de ces dernières turbines sont pour la marche en arrière. Les hélices extérieures sont très en avant, 20 m environ, des hélices intérieures pour éviter la réaction sur celles-ci de l'eau mise en mouvement par les premières; celles-ci ont aussi, pour la même raison, le plan de leurs axes de 1 m 20 environ au-dessus du plan des axes des hélices intérieures. L'écartement est pour ces dernières de 6 m environ, et, pour les axes des hélices extérieures, de 13,75 m. Les arbres sont contenus dans des renflements de la coque qui vont jusqu'aux hélices. Les turbines extérieures reçoivent la vapeur à 14 kg des chaudières et l'envoient après un premier travail dans les turbines à basse pression placées au centre. Ces dernières pèsent 430 t ; le diamètre du moyeu intérieur est de 4,779 m, le diamètre à l'extérieur des aubages est de 5,795 m, ce qui conduit à une vitesse à la périphérie de 43,31 m par seconde. La construction de ces turbines comporte une très grande précision d'ajustage, car le jeu entre l'enveloppe et les aubes varie de 1 à 1/2 millimètre, suivant les parties. Les arbres ont 0,825 m de diamètre aux portées d'emmanchement des turbines, et 0,550 dans la partie libre.

La vapeur sera fournie par 25 chaudières cylindriques à retour de flamme du type ordinaire de marine présentant une surface totale de grille de 360 m², et une surface de chauffe de 14400. Le rapport est de 1,40 ; on compte obtenir 2,35 chevaux par mètre carré de surface de chauffe ; les chiffres correspondant sont 2,75 pour le *Kaiser-Wilhelm-II*, et 2,37 pour le *Deutschland*. Ces différences tiennent au mode de tirage. Les chaudières du nouveau paquebot sont divisées en quatre chaufferies ayant chacune une cheminée à section ovale dont le grand axe aura 7,30 m ; la hauteur au-dessus de la quille doit être de 47,25 m.

Nous indiquons dans les tableaux ci-dessous les principales données des paquebots les plus importants et représentant les progrès les plus recents, en Angleterre, en Allemagne, en France et aux États-Unis, un des tableaux pour la coque et un pour les appareils moteurs.

Un fait que l'on ne saurait omettre de signaler à ce sujet est que les nouveaux paquebots Cunard, qui ne seront en service que l'année prochaine, sont déjà actuellement sinon dépassés, tout au moins égalés comme *grosseur*, c'est-à-dire comme déplacement.

En effet, la ligne Hambourgeoise Américaine a fait construire deux paquebots, qui ont, à bien peu de choses près, le même déplacement que les paquebots Cunard. Le premier est l'*Amerika*, construit aux chantiers Harland et Wolff, à Belfast, et en service depuis l'année dernière. L'autre est le *Kaiserin-Auguste-Victoria*, qui sort des chantiers du Vulcan, à Stettin et qui vient d'effectuer (juin 1906) son premier voyage de Hambourg à New-York. Ce navire a 213,50 m de longueur, 23,50 de largeur, et 16,50 de creux. Son déplacement en tirant d'eau maximum de 10,20 m atteint 38 000 tx. Ces deux paquebots ne sont pas des navires très rapides, leur vitesse n'est que de 17 nœuds. Ils peuvent recevoir, équipage

Nationalité.	ANGLAIS	ANGLAIS	ALLEMAND	FRANÇAIS	AMÉRICAIN
Noms des paquebots	*Lusitania*	*Campania*	*Kaiser-Wilhelm II*	*Provence*	*Saint-Paul*
Constructeur	John Brown C°	Chantiers de Fairfield	Vulcan à Stettin	Saint-Nazaire	Cramp
Armateur.	Comp. Cunard	Comp. Cunard	Norddeutscher-Lloyd	Comp. Gle. Transatlantique	American Line
Date de mise en service.	1907	1893	1902	1906	1895
Longueur totale . . . . . m	239,40	189,70	215,50	190,40	169,10
Longueur entre perpendiculaires. . . . . m	231,80	183,00	206,65	182,00	163,35
Largeur. . . . . m	26,80	19,90	21,95	19,70	19,10
Creux. . . . . m	18,45	12,65	16,00	12,70	12,80
Tonnage (gross) . . . . . t	32 500	12 500	20 000	»	11 630
Tirant d'eau . . . . . m	10,07	7,65	8,85	8,15	7,95
Déplacement.	38 000	18 000	26 000	19 160	16 000
Nombre de passagers 1re classe	550	600	775	440	320
Nombre de passagers 2e classe.	500	400	340	130	200
Nombre de passagers 3e classe.	1 300	700	770	810	800
Vitesse en service . . . . . nœuds	25	22	23,50	22	21

Noms des paquebots.	*LUSITANIA*	*CAMPANIA*	*KAISER-WILHELM II*	*PROVENCE*	*SAINT-PAUL*
Type de machines	Turb. compound	Triple expansion	Quad. expansion	Triple expansion	Quad. expansion
Nombre d'hélices.	4	2	2	2	2
Diamètre et pas des hélices . . . . . m	5,20	7,16 — 9,30	6,95 — 10,3	6,50 — 8,8	»
Nombre de manivelles	»	8	12	8	8
Nombre et diamètre des cylindres m	»	4 de 0,940	4 de 0,950	2 de 1,200	4 de 0,710
Nombre et diamètre des cylindres m	»	2 de 2,042	4 de 1,250 4 de 1,900	2 de 1,940	2 de 1,397 2 de 1,956
Nombre et diamètre des cylindres m	»	4 de 2,489	4 de 2,850	4 de 2,242	4 de 1,936
Course des pistons . . . . . m	»	1,753	1,800	1,700	1.524
Nombre de chaudières	23 D 2 S	12 D 1 S	12 D 7 S	21 S	6 D 4 S
Nombre de foyers	192	102	124	84	64
Pression aux chaudières . . . . . kg	14	11,5	14	14	14
Surface totale de grille . . . . . m²	360	244	290	146	67
Surface totale de chauffe . . . . . m²	14 400	7 626	10 000	5 420	2 800
Mode de tirage.	Howden	tirage assisté	tirage assisté	cendrier clos	Howden
Puissance indiquée. . . . . ch	68 000	30 000	38 000	30 000	18 000
Nombre de tours par minute	140	80	80	80	»

et passagers, 4,000 personnes, c'est-à-dire la population d'une petite ville. Une des particularités de l'aménagement de ces deux navires est la présence d'ascenseurs pour relier les divers ponts et éviter aux voyageurs la fatigue de gravir des escaliers surtout par mauvais temps.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler à ce sujet que le *Great-Eastern*, construit il y a cinquante ans, avait 207 m de longueur, 25,30 m de largeur et 17,70 m de creux. Son déplacement, à cause du tirant d'eau relativement faible pour les dimensions de la coque, était seulement de 27 000 tx. La puissance des machines était d'environ 8000 chevaux indiqués et la consommation de charbon pour un voyage de Liverpool à New-York à la vitesse de 13,5 nœuds était de 2,800 tonneaux, soit sensiblement la même que celle du *Campania* dont la vitesse est de 22 nœuds.

Chemin de fer mixte à adhérence et crémaillère d'Ilmenau à Schleusingen. — On a ouvert, dans l'automne de 1904, une ligne de chemin de fer qui présente un certain intérêt. Elle est établie entre Ilmenau et Schleusingen, dans le Thuringerwald, pour relier les lignes de Plane-Ilmenam et Thomar Schleusingen et appartient à l'Administration des chemins de fer prussiens et hessois.

Les difficultés que présentait le tracé sur une partie ont obligé à l'emploi du système d'exploitation mixte à adhérence et crémaillère. La ligne a 32,1 km de longueur ; sur la partie à adhérence, les déclivités ne dépassent pas 25 0/00, et le rayon des courbes 250 m, sauf dans deux endroits où il descend à 200 m. La longueur totale des sections à crémaillère, au nombre de cinq, est de 6,24 km, soit 20 0/0 de la longueur totale, le rayon des courbes est le même que dans l'autre partie, la déclivité atteint 60 0/00. Ilmenau est à l'altitude de 477,77 m, Schleusingen à celle de 370,37 m, et le point culminant Reinsteg à 746.90, de sorte que le tracé monte de 268,60 m en partant de Ilmenau et descend de 374,03 m pour arriver à Schleusingen.

La voie est à l'écartement normal ; elle est établie en rails d'acier de 31,16 kg le mètre courant et posée sur traverses métalliques de 2,50 m de longueur, au nombre de douze, par longueur de rail de 9 m. La crémaillère, du système Abt, est à deux lames à dents croisées. Elle est formée de barres de 1,796 m. de longueur, séparées par un intervalle de 4 millimètres, ce qui donne 1,80 m pour l'écartement dans le sens de la longueur, le pas étant de 0,12 m, il y a 15 dents par barre. Ces barres sont en acier Thomas donnant 50 kg de résistance à la rupture avec 18 0/0 d'allongement. Les lames parallèles sont écartées de 40 millimètres et boulonnées de chaque côté de la partie supérieure d'un support. Il y a deux supports par longueur de lames, ce qui donne un écartement de 0,90 m d'axe en axe des traverses ; chaque barre pèse 33,66 kg, et chaque support 10,07 kg. A chaque extrémité des parties à crémaillère, il y a une pièce d'entrée de 3 m de longueur articulée par une charnière à la crémaillère fixe et relevée par des ressorts à spirale. Le pas de la denture est toujours de 0,120 m sur ces pièces, mais la dimension des dents dans le sens de la longueur va en diminuant graduellement de la charnière vers le bout libre où elle n'est plus que de 40 au lieu de 50 millimètres, la hauteur des dents va également en

diminuant, ces dispositions sont employées, comme on sait, sur les chemins de fer à crémaillère pour faciliter l'engrenement des roues avec la crémaillère sans arrêt de la machine.

Le prix du kilomètre de voie à crémaillère s'établit comme suit :

1 000 de crémaillère.	27 790 f
1 190 traverses et supports. . .	11 185
2 000 m. de rails	9 800
Accessoires	3 650
	52 385 f

Avec la pose et le ballast, le prix du kilomètre de voie s'élève a 60 000 f. en nombre rond.

Le prix est à peu près double de celui d'une voie ordinaire, mais l'augmentation est compensée largement par la réduction de longueur que permet l'introduction de déclivités plus fortes que permet l'emploi de la crémaillère. Ainsi le projet qui avait été fait d'un chemin entièrement à adhérence à rampes de 30 0/0 et courbes de 200 m de rayon avait une longueur de 2.4 km plus grande.

La comparaison du prix de la ligne dont nous nous occupons avec celle des cinq autres lignes à adhérence établies dans la même région est un argument très sérieux en faveur de la solution adoptée. Voici ces prix par kilomètre :

1. Blankenstein-Marxgrund.	204 500 f
2. Gerstangen-Vucha-Hünfeld.	184 500
3. Probstzella-Wallendorf	180 000
4. Eisenberg-Porstendorf.	163 000
5. Köppelsdorf-Stockeim	159 000
6. Ilmenau-Schleusingen	130 000

Le prix du kilomètre de la ligne Ilmenau-Schleusingen est donc inférieur de 27 0/0 à celui de la moyenne des cinq autres lignes et de 19 0/0 à celui de la moins coûteuse de celles-ci.

Le matériel de traction se compose de six locomotives; ces machines sont portées sur quatre essieux, trois accouplés ensemble et un essieu porteur avec déplacement radial placé à l'arrière. Il y a quatre cylindres avec leur mécanisme complet. Deux cylindres extérieurs actionnent l'essieu accouplé du milieu et les cylindres intérieurs placés au droit des deux autres actionnent des roues dentées dont les axes sont accouplés ensemble. Ces roues sont au nombre de deux pour chaque axe, une pour chacune des lames de la crémaillère, chacune a 18 dents, ce qui donne au moins 4 dents en prise complète à la fois. Les axes de ces roues sont portés par deux flasques, supportées par les essieux de la locomotive, de sorte que les dents sont maintenues à une hauteur constante sans avoir à participer au déplacement de la machine dû à la présence des ressorts de suspension.

Les tiroirs des deux mécanismes sont sur les cylindres et commandés pour l'adhérence par des distributions Walschaerts, et pour la crémaillère par des distributions Joy.

Il y a trois systèmes de freins sur les machines : un frein à sabots

agissant sur les roues à adhérence, un frein à bandes agissant sur des poulies calées sur les axes des roues dentées, et un frein à répression basé sur la compression de l'air par les pistons moteurs. Enfin un frein Westinghouse commandé par le mécanicien agit sur les roues des voitures à voyageurs. Les machines portent leurs approvisionnements, pour l'eau dans des caisses latérales à la chaudière, pour le combustible dans des soutes à l'arrière de la plate-forme.

Les trois premières machines ont été construites en 1902, par la fabrique de machines d'Esslingen, voici leurs dimensions principales :

Surface de grille . . . . . m	2,11
Surface de chauffe totale . . . . . m	122,80
Pression de la vapeur . . . . . atm	12
Dimension des cylindres pour l'adhérence . .	470 × 500
— — la crémaillère .	420 × 450
Diamètre des roues accouplées . . . . . m	1,080
Diamètre primitif des roues dentées . . . . m	0,688
Écartement des essieux parallèles . . . . . m	3,250
— total . . . . . m	5,050
— des axes des roues dentées. . . m	0,930
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus du rail . . . . . m	2,250
Eau dans les caisses. l	4 800
Charbon dans les soutes . . . . . kg	1 200
Poids de la machine en service. . . . . kg	55 900

Les trois autres machines ont été faites par les ateliers Borsig en 1904, elles ne diffèrent des premières que par quelques détails; la surface de chauffe a 129 au lieu de 122,8 m²; le poids est de 58 500 kg au lieu de 55 900. Cette différence est surtout due à ce que le diamètre du corps cylindrique a été augmenté pour faciliter l'inclinaison du niveau de l'eau sur les fortes rampes et laisser assez de place pour la vapeur, aussi a-t-on dû relever l'axe de la chaudière qui est dans les dernières machines à 2,315 m au-dessus du rail, au lieu de 2,250 m. Dans les deux types, le ciel du foyer est, pour les mêmes raisons, fortement incliné vers l'arrière.

Le tableau ci-dessous donne les charges remorquées sur différents profils et à différentes vitesses.

VITESSE A L'HEURE	NOMBRE D'ESSIEUX ET DE TONNES REMORQUÉES LOCOMOTIVE NON COMPRISE			
	essieux	tonnes	essieux	tonnes
	sur 50 0/00		sur 60 0/00	
10 km	22	165,0	18	135,0
12	20	150,0	16	120,0
15	17	127,5	14	105,0

Les renseignements qui nous ont servi à faire cette note sont extraits du *Zeitschrift für Bauwesen*, publication faite, comme on sait, par le Ministère des Travaux Publics de Prusse.

Les industries électriques. — La transformation complète de certaines industries déjà anciennes et la création de nouvelles par l'intervention de l'électricité, constituent un des plus merveilleux progrès dont l'époque actuelle est témoin. Dans aucune branche on ne voit luire de plus brillantes probabilités de succès que dans les laboratoires de l'électricien et du chimiste.

L'électricité mise à leur disposition en quantité et à bon marché, permet de tenter des expériences qui, il y a une douzaine d'années seulement, eussent coûté énormément de temps et d'argent.

L'électrométallurgie a donné une impulsion considérable à la production de certains articles marchands, et la baisse des prix qui est résultée de son intervention a augmenté la demande dans une large proportion. Ainsi la baisse de prix de l'aluminium a amené depuis quelques années son emploi dans une infinité de cas. Un des exemples les plus remarquables est sa substitution au cuivre pour les fils conducteurs d'électricité. On emploie dans ce cas l'aluminium sous forme de torons; il peut transmettre des courants à haute tension à de grandes distances.

La plus longue ligne du monde, celle de Electra à San Francisco, distance 248 km, est formée de câbles en aluminium, ainsi que celle de Colgate à Oakland, de 232 km. La demande d'aluminium est si considérable que les Sociétés qui ont pour objet la production de ce métal, augmentent toutes leurs moyens de fabrication. Les fabriques d'aluminium en Europe et aux États-Unis, emploient une puissance totale de 70 000 ch électriques.

Aux États-Unis, il y a actuellement quatre fabriques utilisant 24 000 ch pour la production de l'aluminium, dont elles font à peu près 15 000 t par an. Le développement de la puissance empruntée au Niagara est appelé à augmenter considérablement la capacité de ces fabriques, et on peut s'attendre à voir leur production doublée d'ici un an ou deux.

Dans le raffinage du cuivre, l'électricité a amené des progrès non moins importants. Il y a actuellement plus de trente usines pour le traitement électrolytique de ce métal, et plus de la moitié du cuivre produit dans le monde est raffiné dans ces usines. La production du cuivre électrolytique est estimée à près de 320 000 t par an. Mais, en dépit du bon marché de ce procédé, les prix ont constamment monté dans ces dernières années. L'emploi de l'électricité pour l'extraction du cuivre des minerais pauvres s'est également développé, et il y a là une possibilité d'augmenter la production de ce métal. Au Canada, on a réussi à traiter des minerais ne contenant que 2 à 4 0/0 de cuivre. Une Compagnie française d'études a récemment fait une installation au Chili, pour appliquer la force électrique à l'extraction du cuivre de minerais pauvres du pays. Aux États-Unis, la fabrication de cuivre neuf avec des rognures et des débris a pris une grande importance; on traite par des procédés électrolytiques toute sorte de vieux cuivre, tubes, tôles

de chaudières, rivets, clous, feuilles de doublage et vieux clichés, et on en fait à très bon marché du cuivre neuf prêt à être employé dans la construction.

La fabrication du graphite artificiel au four électrique a pris une importance considérable et emploie actuellement 3 000 ch environ. Il a été fait l'année dernière à Niagara Falls 13 500 000 kg de cette matière. Le procédé est couvert par une patente; il consiste à convertir une masse de coke ou de charbon en graphite en le soumettant à la chaleur du four électrique, les carbures se décomposent à cette température et le graphite se sépare. On emploie une petite quantité de fer et de silicium dans l'opération. Le succès de ce procédé a conduit à entreprendre des essais sur le traitement des carbures au four électrique.

On a conçu, dans ces dernières années, de grandes espérances sur l'emploi du four électrique pour la métallurgie du fer et de l'acier, mais la transformation directe du minerai en acier par l'électricité n'est pas encore passée dans la pratique au moins d'une manière générale. Il y a déjà beaucoup de fours électriques en marche dans divers pays et on travaille constamment à améliorer et simplifier leur fonctionnement, il est certain que, là où le courant électrique peut être obtenu à bon compte, où le minerai est abondant et le combustible rare et cher, le four électrique arrivera à se substituer au haut fourneau pour la production de la fonte. On peut même dire qu'on pourra, en présence de conditions particulièrement favorables, faire de la fonte au four électrique dans des régions où on ne pourrait pas le faire en se servant de charbon.

Dans le cas particulier de la production des aciers spéciaux, les procédés basés sur l'emploi de l'électricité paraissent avoir un grand avenir et on a déjà obtenu des résultats très satisfaisants.

En Allemagne et en France, il existe des fours électriques pour la production de ces aciers. Dans le second de ces pays, à La Praz en Savoie, il y a une usine munie de fours du système Héroult, dans lesquels on produit par jour 6 à 10 t d'aciers spéciaux, au prix de 32 centimes par tonne pour le courant électrique. Cet établissement a déjà produit plus de 5 000 t d'acier. Il y a encore en France deux autres fabriques de ce genre. En Italie on emploie le procédé Stassano, et en Allemagne on a appliqué, avec plus ou moins de succès, diverses méthodes pour la fabrication électrique de l'acier. Aux États-Unis et au Canada, cette fabrication n'a encore été tentée qu'à titre d'expérience. A Massena on a essayé une méthode basée sur l'emploi du four électrique, et les résultats semblent permettre le succès. A Niagara Falls, on emploie le procédé Rothenberg, mais non sur une échelle commerciale. On peut citer diverses tentatives faites avec des fours Héroult ou Keller, mais elles n'ont pas encore conduit à une exploitation pratique.

En revanche, on a obtenu de très bons résultats dans la fabrication des alliages du fer, tels que ferro-chrome, ferro-silicium et ferro-titanium, au four électrique. A Niagara Falls, on produit le ferro-titanium en traitant dans ce four des riblons, de l'aluminium et des minerais de fer titanifères de peu de valeur. On fait de même du ferro-silicium avec

des riblons de fer et d'acier. Une partie des fabriques de carbure de calcium qui ont dû être fermées, ont été transformées pour faire du ferro-silicium. On y emploie des fours à résistances où on fond les riblons à haute température en présence du quartz pur. Une installation de 4 000 ch produit 20 t de cet alliage par jour.

Le ferro-chrome est employé dans la fabrication de certains aciers, par exemple pour plaques de blindage ou pour outils qui doivent acquérir une grande dureté dans une partie. Une usine en produit 1 800 t par an pour les aciéries Carnegie et de Bethlehem. Les fours électriques employés dans cette fabrication ne diffèrent pas sensiblement des autres. On fait aussi le ferro-manganèse au four électrique : on sait que cet alliage est devenu un facteur important dans la production de certains aciers.

L'emploi du four électrique pour la fabrication du verre a beaucoup attiré l'attention dans ces derniers temps, et on a été jusqu'à prédire que cet emploi amènerait une révolution complète dans cette industrie. Si les espérances qu'on a conçues dans cet ordre d'idées se confirmaient, il en résulterait que le centre de la production du verre passera de Pittsburg à Niagara Falls ou à tout autre endroit où on aura le courant électrique en abondance et à bon marché. Il ne semble pas toutefois que le remplacement des fours à récupération par les fours électriques soit si proche, sauf dans quelques régions particulièrement favorisées. Cependant, en Allemagne, on emploie les fours électriques pour la production du verre de quartz destiné à la fabrication d'ustensiles pour la chimie. Ce genre de verre a acquis une grande popularité pour certains usages, parce qu'il n'est pas sujet à se briser par de brusques changements de température, et qu'il résiste à une très forte chaleur. Dans les pays où le quartz est abondant et où on peut utiliser des forces naturelles à la production du courant électrique, l'industrie du verre de quartz a de l'avenir. On fait actuellement de divers côtés des essais dans cet ordre d'idées, et on pourra bientôt avoir des éléments d'appréciation sur l'influence que l'électricité est appelée à exercer sur la fabrication du verre.

L'affinage des métaux précieux par l'électricité a fait de grands progrès. Les méthodes électrolytiques d'affinage de l'or et de l'argent sont employées sur tous les points du globe. A Perth, Amboy et Philadelphie on traite par ce procédé de grandes quantités de ces deux métaux.

En Allemagne, cette méthode se développe tous les jours, et les établissements spéciaux de Francfort et de Hambourg produisent pour plus de 50 millions de francs par année. Aux États-Unis, le traitement électrolytique est en grand progrès, et comme ce pays est un des grands producteurs de métaux précieux du monde, il est probable que l'extension de ce procédé de traitement le mettra, dans un avenir prochain, à la tête de l'industrie de l'affinage.

Dans les industries électrométallurgiques se classent encore des fabrications un peu secondaires, mais cependant de réelle importance; la production du cuivre au silicium et du siloxicon sont basées sur l'emploi du four électrique. Le nickel, le plomb, l'étain et le zinc viennent dans le domaine de l'électricité, on les extrait de leurs minerais

et on les purifie par des procédés électriques dont l'emploi se répand de plus en plus. Une application qui a une importance considérable est la récupération électrolytique de l'étain, des rognures de fer-blanc, boites de conserves, etc.

Ce n'est pas un fait sans intérêt que de voir, grâce à l'emploi de ces procédés, les tas d'ordures fournir des métaux comme les mines le font par les minerais qu'on en extrait.

Emplois industriels de l'alcool en Allemagne. — En Allemagne, on tire l'alcool destiné aux usages industriels et autres des pommes de terre, des grains et des mélasses, résidu de la fabrication du sucre de betterave ; en dehors, une faible quantité, employée comme boissons et pour la préparation des produits médicinaux, est extraite des raisins, cerises et autres fruits.

Les dernières statistiques officielles donnent les chiffres suivants relatifs à la production de l'alcool des trois sources principales pour l'année 1904 : Pommes de terre 2 510 000 hl, grains 570 000 et mélasses 115 000, soit en tout 3 195 000 hl.

Il y a quelques années, lorsque l'emploi des voitures automobiles pour les usages commerciaux et militaires commença à prendre une certaine importance, le Gouvernement allemand parut envisager avec intérêt la possibilité de rendre l'alimentation de ces moteurs indépendante de l'importation de l'étranger des benzines et autres produits du pétrole. L'alcool semblait présenter la solution du problème, et on chercha à encourager sa production et son emploi pour la force motrice. On institua des prix pour les moteurs à alcool appliqués à l'art militaire et à l'agriculture, et les constructeurs d'appareils de ce genre apportèrent tous leurs efforts à les rendre susceptibles d'employer dans les meilleures conditions l'alcool comme combustible.

C'est à cette époque que fut créée la puissante organisation connue sous le nom de « Centrale für Spiritus Vernestung » avec siège central à Berlin et succursales dans tout l'empire, laquelle commença aussitôt une campagne pour développer l'usage de l'alcool pour les applications industrielles et domestiques, notamment le chauffage, l'éclairage, la cuisine, etc. On fit des expositions annuelles dans lesquelles figuraient les appareils et procédés pour l'extraction de l'alcool des diverses matières, pour l'emploi de l'alcool aux divers usages, notamment des appareils de chauffage et d'éclairage tels que les lampes avec manchon incandescent donnant une lumière très intense, pouvant être obtenue dans les campagnes à un prix inférieur à celui du pétrole ou de l'électricité.

Le résultat de ces efforts fut de développer si rapidement les usages industriels et domestiques de l'alcool que, lorsque la sécheresse de 1904 vint réduire d'une manière sérieuse la production de l'alcool de pommes de terre, les stocks s'épuisèrent rapidement et les prix montèrent jusqu'à ce que l'alcool devint trop cher pour être employé dans les moteurs. La conséquence a été que, si l'emploi de l'alcool pour les usages industriels, le chauffage, l'éclairage et d'autres applications, continue à se développer en Allemagne d'une manière constante, en revanche la

proportion employée pour la production de la force motrice est très faible et semble décroître de plus en plus, bien qu'on ne puisse pas donner de chiffres précis à cet égard. Il faut dire que quelques personnes, sous l'empire d'un sentiment patriotique plutôt que pour d'autres raisons, se servent d'alcool pour des automobiles, des bateaux à moteur ou des appareils agricoles. Un grand magasin de Berlin consomme encore annuellement pour ses voitures de livraison, environ 7 000 hl d'alcool, mais additionné, pour en augmenter l'effet utile, de 15 0/0 de benzole. On a constaté, en effet, par des essais très sérieux, que l'addition d'une certaine quantité de benzole ou autre produit du pétrole, en carburant l'alcool, amène une économie très appréciable pour les moteurs. A une certaine époque, on croyait que la proportion de benzole ne pouvait pas être portée au delà de 20 0/0, mais des expériences plus récentes ont fait voir qu'on pouvait aller jusqu'à mettre parties égales d'alcool et de benzole et en obtenir des résultats satisfaisants surtout avec de grands moteurs, et cela sans compromettre en rien la sécurité du fonctionnement. Pour les automobiles, la proportion est actuellement de 30 0/0 de benzole ou de gazoline, mais pour le moment, avec les prix de l'alcool, ce mélange ne peut lutter, sur le terrain économique, avec les hydro-carbures minéraux, dans un pays qui produit ceux-ci ou dans lequel ils entrent sans payer de droits.

On compte en ce moment en Allemagne plus de 2 000 moteurs à alcool fixes ou transportables, sans compter les automobiles qui emploient ce liquide. Ces moteurs ont consommé, en 1904, environ 30 000 hl d'alcool dénaturé. A cause de l'énorme récolte de pommes de terre en 1901 et la surproduction d'alcool qui en est résultée, l'alcool dénaturé valait, en 1903, pour toutes quantités, de 0,20 à 0,25 f le litre, mais, en 1904, ce prix est monté à 0,40 f, ce qui le rendait, pour les moteurs, plus coûteux d'emploi que la gazoline.

Telle est actuellement la situation en Allemagne. La production et la consommation industrielles de l'alcool sont plus élevées que jamais. L'accroissement, pour 1904, par rapport à l'année précédente, est d'après les rapports de la « Centrale » de plus de 100 000 hl. Mais bien que toutes les grandes maisons de construction de moteurs ou d'automobiles fassent des appareils qui donnent d'excellents résultats en fonctionnant avec l'alcool, il n'en est pas moins vrai que sur les 3 200 000 hl de ce liquide faits en 1904, 1 0/0 seulement a servi à la production de la force motrice. Ces renseignements sont extraits d'un rapport du Consul général des États-Unis à Berlin donné dans le *Journal of the Society of Arts*.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Avril 1906

Rapport de M. Ed. Sauvage, sur **un compresseur d'air à deux phases**, présenté par M. Durozoi.

Ce compresseur a deux cylindres successifs commandés par un cylindre à vapeur. La distribution de vapeur est d'un type nouveau ; c'est un tiroir cylindrique occupant deux positions alternatives, l'une pour l'admission et l'autre pour l'échappement d'un côté du cylindre ; le tiroir est mû par un petit piston auxiliaire que le piston principal pousse à sa fin de course supérieure et qui est ramené ensuite par la pression de la vapeur passant par un orifice débouché par le piston principal lorsqu'il arrive à sa fin de course inférieure. Les boites à soupapes des cylindres compresseurs sont sur les plateaux et ne font aucune saillie extérieure. Cet appareil paraît très simple et doit utiliser convenablement la vapeur,

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Nous citerons parmi ces notes les sujets suivants : Cuivrage électrolytique du fer. — Préparation de l'hydrogène à l'aide de l'hydrure de calcium. — Ciments et chaux hydrauliques. — Stabilité des celluloïdes. — Nouvelle méthode de séparation en analyse industrielle. — Classification électro-analytique des métaux. — Propriétés utiles des argiles. — La ramie. — Formation et recherche des divers combustibles fossiles. — L'industrie des schistes bitumineux. — La cordite. — L'hemoalcalimétrie. — Matières colorantes de la série des anthraquinones. — Desscication par l'air liquide.

Notes économiques, par M. M. Alfassa. — A propos d'une critique américaine des méthodes financières des trusts.

L'auteur présente ici un résumé d'une communication faite au commencement de cette année à l'Institut de Franklin par M. William D. Marks. Cette communication, très développée, cherche d'abord à faire voir l'importance relative des deux facteurs qui interviennent pour l'existence même des entreprises industrielles : la technique et le capital. L'inégalité de traitement entre ces deux facteurs est flagrante. L'ingénieur est l'élément prépondérant de l'industrie, celui dont le travail seul assure le succès et il est très inéquitablement récompensé pour les services qu'il rend, tandis que des parasites financiers absorbent la grosse part. Les causes de cette disproportion de la rémunération sont longuement développées.

M. Marks traite ensuite des méthodes financières introduites aux États-Unis par ces parasites et à leur profit. Il est très sévère pour ces méthodes dont il dit que le moindre reproche qu'on puisse formuler est celui de « malhonnêteté frisant le vol » et indique quelques exemples de majoration d'affaires vraiment excessive. Nous devons dire que M. Alfassa déclare qu'un doute s'élève à la lecture de cette étude américaine de pratiques d'Amérique et que les démonstrations de M. Marks ne paraissent pas absolument probantes, parce qu'elles procèdent trop par affirmations, peut-être fondées, mais en tout cas insuffisamment étayées.

Notes de mécanique. — Nous citerons parmi ces notes : une étude sur une machine à essayer de 270 t construite pour le laboratoire de l'Université de l'Illinois, une sur la résistance des aciers doux et fondus aux hautes températures, la description de la machine frigorifique à absorption de Cracknell et celle d'une turbine de 10 000 ch de Snoqualmie Falls.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Avril 1906

District de Paris

Réunion du 21 décembre 1905

Communication de M. Walckenaer sur **les accidents d'appareils à vapeur.**

L'auteur signale l'abaissement qui s'est produit graduellement en France dans les conséquences mortelles des accidents causés par les appareils à vapeur. Le nombre des morts par année qui était de 4,5 par 10 000 appareils, de 1871 à 1875, n'est plus, de 1901 à 1904, que de 1,5, soit le tiers.

C'est dans l'industrie des chemins de fer que le risque est le moindre. la mortalité par suite d'accidents de chaudières est de 0,28 par 10 000 appareils et par an, et c'est dans l'industrie agricole que le danger est le plus grand ; cela tient à l'entretien généralement défectueux des locomobiles agricoles ; les explosions de batteuses à vapeur ne sont pas rares et font généralement beaucoup de victimes. Le remplacement de ces machines par des appareils actionnés par des moteurs à pétrole est un des meilleurs remèdes contre cette source de dangers.

Sur les bateaux, on doit attacher une importance toute spéciale aux fermetures des portes de foyers, de cendriers, de boites à fumée, etc., et aussi (ce que l'auteur a omis de mentionner), aux voies d'accès aux chaufferies, l'insuffisance de ces accès a rendu souvent très graves les conséquences d'accidents sans grande importance par eux-mêmes.

Il a été présenté d'intéressantes observations dans la discussion qui a suivi cette communication.

Communication de M. MULLERET sur **l'Art des Mines à l'Exposition de Liège.**

C'est la fin d'une communication faite dans une séance précédente. L'auteur y traite de l'outillage et des travaux souterrains de l'exposition minière allemande, des transports et extraction, épuisement, aérage, préparation mécanique, installations de surface et institutions ouvrières de la même exposition. Il ajoute quelques mots sur les expositions minières des états autres que la France, la Belgique et l'Allemagne.

DISTRICT DE SAINT-ETIENNE

Réunion du 7 avril 1906

Communication de M. VERNEY sur **les Associations d'Ingénieurs.**

L'auteur établit une distinction entre les associations amicales et les associations techniques dont le but est distinct; il y a des Sociétés qui participent de l'un et de l'autre caractère. Il indique sommairement les principales Sociétés de ce genre en Allemagne, en Belgique et en France.

Note de M. de RENEVILLE sur **le remblayage hydraulique.**

Il est donné ici quelques renseignements sur la manière dont s'effectue le remblayage hydraulique aux mines du comte Wilczek, à Polnisch-Ostrov, et des précautions à prendre dans l'installation des canalisations d'eau pour lesquelles on doit préférer l'acier soudé à la fonte.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 22. — *2 juin 1906*

Le canal de Teltow, construit de 1901 à 1906, par Chr. Hauestadt.

Automobile pour chemin de fer de la fabrique de machines d'Esslingen, par A. Heller.

Les installations électriques de Wangen-sur-Aar, par K. Meyer (*suite*).

Locomotive à distribution par soupapes, de la fabrique hanovrienne de machines, précédemment Georg Egestorff, par Metzeltin (*fin*).

Groupe de Berlin. — Organisation des voies de transport commercial du monde (*fin*).

Revue. — Exposition germano-bohême à Reichenberg. — Chemin de fer funiculaire entre Nancy et Saint-Antoine. — Le tremblement de terre de San-Francisco.

N° 23. — *9 juin 1906*

Les établissements de la Sill à Insbruck (*fin*).

Transformation en gaz des lignites pour la production de la force motrice, par H. Neumann (*fin*).

Le canal de Teltow, construit de 1901 à 1906, par Chr. Hauerstadt (*fin*).

Automobiles pour transport de voyageurs et de marchandises, par A. Haller (*fin*).

Aperçu sur la théorie des ventilateurs à hélice, par C.-F. Holmboe.

Groupe de Bavière. — Organisation et méthodes de travail dans les fabriques. — Expériences sur des moteurs Diesel.

Groupe de Berg. — L'industrie moderne de l'acier et les usines Krupp.

Groupe de Hanovre. — Nouveaux générateurs.

Groupe de Cologne. — Le développement et les applications commerciales de l'automobile.

Groupe de Lausitz. — Les navires de guerre d'aujourd'hui et notamment les torpilleurs.

Groupe de Zwickau. — La tactique de la guerre maritime moderne.

Bibliographie. — Influence de l'accroissement du capital et de la production sur le coût des produits dans l'industrie allemande de la construction mécanique, par K. Rathenau.

Revue. — Train automobile de la Société « Freibahn ». — Réseau de transport de gaz à Aurora. — Expériences sur les frottements de coussinets de fort diamètre. — Dispositif pour équilibrer les tiroirs. — Machine à cintrer les tôles.

N° 24. — *16 juin 1906*

Notice nécrologique sur Henri Sulzer (de Winterthur).

Les installations électriques de Wangen-sur-Aar, par K. Meyer (*suite*).

Le spectre et la constitution des atomes, par Cl. Schœfer.

La construction des barrages, par O. Intze (*fin*).

Les turbines, par D. Banki.

Etude dynamique sur la transmission par bielle et manivelle, par F. Wittenbauer.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Construction et organisation des maisons ouvrières.

Groupe de Hambourg. — Estimation des pouvoirs calorifiques et bombe Berthelot-Mahler.

Bibliographie. — Les chemins de fer de l'Amérique du Nord au point de vue administratif et commercial, par W. Hoff et F. Schwabach.

Revue. — Le transporteur aérien Helling de la Palmer's Shipbuilding and Iron Cy. — Le compresseur de Beavell et Cie à Ipswich. — Mise à l'eau du paquebot *Lusitania*.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LA CHRONIQUE DU 1er SEMESTRE, ANNÉE 1906

(Bulletins de janvier à juin.)

Adhérence (Chemins de fer à) et crémaillère d'Ilmenau à Schleusingen. Juin, 1001.

Alcool (Emplois industriels de l') en Allemagne. Juin, 1007.

Alexandrie (Epuration des eaux potables à). Janvier, 125.

Allemagne (Emplois industriels de l'alcool en). Juin, 1007.

Allemands (Association des Ingénieurs). Mai, 886.

Allongements par flexion. Février, 400.

Altitude (Influence de l'). sur la combustion. Avril, 711.

Aluminium (La production de l'). aux Etats-Unis. Janvier, 125.

Antiquité (Le fer dans l'). Mai, 892.

Association (L') des Ingénieurs allemands. Mai, 886.

Automobile (Les précurseurs de l'). Mai. 888.

Britannique (La construction navale) en 1905. Janvier, 121.

Brouette (Un mode de construction de roue de). Avril, 710.

Calorifuge (Revêtements) pour chaudières et conduites de vapeur. Mars, 567.

Catastrophe (La) de San-Francisco. Mai, 881 ; Juin, 993.

Chaines (Les) nouveaux paquebots Cunard. Janvier, 127.

Chaudières (Revêtements calorifuges pour) et conduites de vapeur. Mars, 567.

Cheminées (Grandes) aux États-Unis. Avril, 714.

Chemins de fer (Les écartements de voie des) de l'Inde. Février, 397. — Mixte à crémaillères et à adhérence de Ilmenau à Schleusingen. Juin, 1001.

Chimique (L'industrie) aux États-Unis. Mars, 579.

Chine (L'industrie du sel en). Mars, 577.

Coke (Utilisation des gaz des fours à) pour la production de l'électricité. Janvier, 118. — (L'industrie du) à Connellsville. Février. 402.

Combustible (Nouveau) préparé avec le lignite. Mai, 895.

Combustion (Influence de l'altitude sur la). Avril, 711.

Compound (Les locomotives) à trois cylindres. Avril, 707.

Conducteurs d'électricité au Niagara. Mars, 575.

Conduites (Revêtements calorifuges pour chaudières et) de vapeur. Mars, 567.

Connellsville (L'industrie du coke à). Février, 402.

Construction (La) navale britannique en 1905. Janvier, 121. — (Un mode de construction de roue de brouette. Avril, 710.

Crémaillères (Chemin de fer mixte à) et à adhérence d'Ilmenau à Schlesingen. Juin, 1001.

Cunard (Les chaînes des nouveaux paquebots). Janvier, 127.

Cylindres (Les locomotives Compound à trois). Avril, 707.

Eaux (Épuration des) à Alexandrie. Janvier, 125. — Le traitement des) d'égout. Février, 405.

Ecartements (Les) des voies de chemins de fer de l'Inde. Février, 397.

Egouts (Le traitement des eaux d'). Février, 405.

Electricité (Utilisation des gaz des fours à coke pour la production de l'). Janvier, 118. — (Conducteurs d') au Niagara. Mars, 575.

Electriques (Les industries). Juin, 1004.

Emplois industriels de l'alcool en Allemagne. Juin, 1007.

Epuration des eaux potables à Alexandrie. Janvier, 125.

Etats-Unis (L'industrie chimique aux.) Mars, 579. — (Les grandes cheminées aux). Avril, 714.

Fer (Le) dans l'antiquité. Mai, 892.

Flexion (Allongements par). Février, 400.

Fours (Utilisation des gaz des) à coke pour la production de l'électricité. Janvier, 118.

Fumée (La) à Londres. Février, 403.

Gaz (Utilisation du) des fours à coke pour la production de l'électricité. Janvier, 118.

Hôtel des Sociétés réunies d'Ingénieurs à New-York. Mars, 570.

Ilmenau (Chemin de fer mixte à crémaillère et à adhérence d') à Schleusingen. Juin, 1001.

Inde (Les écartements des voies de chemins de fer dans l'). Février, 397.

Industrie (L') du coke à Connellsville. Février, 402. — (L') chimique aux États-Unis. Mars 579. — (L') du sel en Chine. Mars, 577. — (Les) électriques. Juin, 1004.

Industriels (Emplois) de l'alcool en Allemagne. Juin, 1007.

Influence de l'altitude sur la combustion. Avril, 711.

Ingénieurs (Hôtel des Sociétés réunies d') à New-York. Mars, 570. — (L'Association des) allemands. Mai, 886.

Lignite (Nouveau combustible préparé avec le). Mai, 895.

Locomotives (Les) compound à trois cylindres. Avril, 707. — (La) Shay. Mai, 883.

Londres (La fumée à). Février, 403.

Navale (La construction) britannique en 1905. Janvier, 121.

New-York (Hôtel des Société réunies d'Ingénieurs à). Mars, 570.

Niagara (Conducteurs d'électricité au). Mars, 575.

Paquebots (Les chaînes des nouveaux) Cunard. Janvier, 127. — (Les nouveaux) transatlantiques. Juin, 995

Précurseurs (Les) de l'automobile. Mai, 888.

Production (Utilisation des gaz des fours à coke pour la) de l'électricité. Janvier, 118. — (La) de l'aluminium aux États-Unis. Janvier, 125.

Revêtements calorifuges pour chaudières et conduites de vapeur. Mars, 567.

Roue (Un mode de construction de) de brouette. Avril, 710.

San-Francisco (La catastrophe de). Mai, 881 ; Juin, 993.

Schleusingen (Chemin de fer mixte à crémaillère et à adhérence d'Ilmenau à) Juin, 1001.

Sel (L'industrie du) en Chine. Mars, 577.

Shay (La locomotive). Mai, 883.

Simplon (Au). Mars, 582.

Sociétés (Hôtel des) réunies d'Ingénieurs à New-York. Mars, 570.

Sondages (Température dans les) profonds. Avril, 716.

Température (dans les sondages profonds. Avril, 716.

Traitement (Le) des eaux d'égout. Février, 405.

Utilisation des gaz des fours à coke pour la production de l'électricité. Janvier, 118.

Vapeur (Revêtements calorifuges pour chaudières et conduites de). Mars, 567.

Voies (Les écartements de) des chemins de fer de l'Inde. Février, 397.

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE PREMIER SEMESTRE DE L'ANNÉE 1906

(Bulletins de janvier à juin)

ADMISSIONS DE NOUVEAUX MEMBRES

Bulletins de janvier à juin. . . . . 6, 171, 431, 602, 741 et 906

BIBLIOGRAPHIE

Accumulateurs (Manuel de la fabrication des), par M. F. Grünwald. 144
Actualités scientifiques, par M. Max de Nansouty 419
Alliages métalliques (Étude industrielle des), par M. L. Guillet. 589
Aurifère (Industrie), par M. David Levat 729
Automobile (Électricité dans l'), par M. H. de Graffigny 422
Calorifères (Le chauffage des habitations par les), par M. R. Périssé. 420
Céramique industrielle (la), par M. A. Granger. 143
Chimie (Agenda Dunod pour 1906), par M. Emile Javet 732
Commande à distance au moyen de l'électricité (Les procédés de), par M. Régis Frilley 734
Construction (Agenda Dunod pour 1906) 416
Eaux (Législation des), par MM. L. Courcelle et E. Dardart. 139
Électrons (Sur les), par M. O. Lodge FRS, traduction de MM. E. Nugens et Péridier 734
Électro-thermiques pour la réduction des minerais de fer et la fabrication de l'acier employés en Europe (Rapport de la Commission nommée pour étudier les divers procédés) 418
Four électrique à marche continue pour fabrication du verre, par M. Sauvageon. 144
Horloges, leur description, construction, réparation, etc. (Les échappements des), par M. Dietzschold 142
Hydraulique agricole et urbaine, par M. G. Bechmann. 139
Hygiène (Construction des usines au point de vue de l'), par M. Mainguet 140
Hygiène et sécurité du travail industriel, par M. G.-G. Paraf. . 420
Incendie, ses causes, sa prévention, son extinction (l'), par M. Michotte 141
Intérêts composés, annuités et amortissements (Table des), par M. A. Arnaudeau 733
Ions, Électrons, Corpuscules, par MM. Abraham et Langevin . . . 735

Loi du 9 avril 1898 (Commentaire pratique et revue de jurisprudence de la), par MM. A. Mourral et Berthiot 727

Loi minière au Japon, communiquée par M. D. Becker. 731

Mécanique (Agenda Dunod pour 1906). 728

Mines du Transvaal, les gîtes, leur valeur, etc. (Étude sur l'état actuel des), par M. G. Moreau. 593

Mines et métallurgie (Agenda Dunod pour 1906), par M. D. Levat 732

Télégraphes en Europe, leur état actuel en 1905 (les), par M. Guarini. 422

Télphérage électrique (Derniers progrès de), par M. E. Guarini. 736

Tinctoriale (La grande industrie), par M. Francis-C. Beltzer . . . 733

Travaux publics (La théorie et la pratique dans les), par M. Pierre Jolibois. 728

Turbines, Hydraulique pratique (Théorie des), par M. Zeuner. . 416

Usines et manufactures (Agenda Dunod pour 1906). 729

Vinaigre (le), par M. Henri Astruc. 421

Voies de chemins de fer et les moyens d'y remédier (Étude sur les déformations des), par M. Cuënot. 142

CHEMINS DE FER

Chemins de fer africains (les), Etude d'ensemble, par M. Salesse (séance du 16 février). 184

Chemins de fer à crémaillère (les), par M. Lévy-Lambert, *observations* de M. A. Hillairet (séance du 2 mars), mémoire . . . . . 434 et 507

Chemins de fer, les oscillations du matériel et la voie (Grandes vitesses des), par M. G. Marié, *observations* de M. A. Hillairet (séance du 4 mai), mémoire. . . . . 622 et 742

Chemins de fer de montagnes. — Traction sur crémaillère ou par adhérence. — Étude comparative, par M. A. Mallet. 917

CHIMIE INDUSTRIELLE

Fermentation des vins et des cidres (Industrialisation de la), par M. E. Barbet, *observations* de M. P. Besson (séance du 16 mars), mémoire . . . . . 440 et 485

Papier, leur but, leurs conséquences (Les essais mécaniques et analyse des), par M. E. Favier. *observations* de M. A. Hillairet (séance du 15 juin) 913

Soudure autogène de métaux (Discussion sur la), par MM. Dumesnil, R. Arnoux, Fouché, Brocq et *lettre* de M. G. Jaubert (séance du 16 mars). 444

CHRONIQUE

Voir *Table spéciale des matières.*

COMPTES RENDUS

Bulletins de janvier à juin . . . . . 129, 410, 583, 718, 896 et 1 009

CONCOURS

Concours ouvert par le Syndicat des forces hydrauliques pour l'étude et la mise au point d'un appareil limiteur de courant (séance du 5 janvier) 3

Concours ouvert pour la construction d'un immeuble destiné à la Bourse Khédiviale du Caire (séance du 1er juin) 907

Concours ouvert pour la construction d'un collège de jeunes filles, à Bône (séance du 1er juin) 907

Concours de la Société industrielle du Nord de la France pour 1906 (séance du 1er juin) 908

CONGRÈS

Chimie appliquée, à Rome du 26 avril au 3 mai 1906 (6e Congrès de) (séance des 16 février et 6 avril) . . . . . 184 et 604

Chimie appliquée de Rome (Compte rendu du Congrès de), par M. E. Barbet, *observations* de M. L. Guillet (séance du 18 mai) . . . 750

Colonial National du 5 au 9 septembre 1906, à Marseille, (séance du 18 mai) 747

Dessin, à Paris, du 1er au 9 août 1906 (1er Congrès national français de l'enseignement du) (séance du 6 avril) 604

Essai des matériaux, du 5 au 9 septembre 1906, à Marseille (4e Congrès de l'Association internationale pour l') (séance du 18 mai) 747

Feu dans les bâtiments, à Paris, du 1er au 5 mars 1906 (Congrès de la prévention du) (séance du 2 février) 173

Feu dans les bâtiments (Compte rendu du Congrès Français de la prévention du), résumé analytique des travaux, par M. H. Favrel, *observations* de M. P. Regnard (séance du 1er juin) mémoire. . . 908

Sociétés savantes, à la Sorbonne du 17 au 20 avril 1906 (44e Congrès des), (séance du 5 janvier) 34

Sud-Ouest navigable, les 6, 7 et 8 juillet 1906, à Bergerac (5e Congrès du) (séance du 18 mai) 747

DÉCÈS

De MM. A. Bécard, J.-J. Buddingh, F. de la Brière, V. Caillard, A. Leconte, Ch.-Abel Le Marchand, A. Pinart, Ch. Pinat, Ch. Pot, J. Rouvière, M. Bixio, J. Lévi, W.-P. Trénery, J.-Ch.-M. Dorion, A. Marsaux, F. Morel, A. Lecomte, Ch. Pronnier, F. Sauvaget, E.-J. Charruyer, J. de Koning, F. Bourdet, E.-A. Zuber, Géry, E. Guérin de Litteau, Ch.-J. Noël, Hallier Adrien, P. Morice, L. Becourt, Farjasse, A. de Laborie, Cornet y Masriera, A. Bazin, Bischoffsheim, Ch. G. Bontemps, A.-H. Bricard, Th.-J. de Joly, L.-L. Perreau (séances des 5 et 19 janvier, 2 et 16 février, 19 mars, 6 et 20 avril, 4 et 18 mai, 1er et 15 juin). 33, 36, 172, 183, 439, 603, 615, 742, 747, 907, et 912

DÉCORATIONS FRANÇAISES

Officiers de la Légion d'honneur : MM. G. Dumont, L. Parent.

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. F. Sauvaget, H. Bertrand, H. Julliot, E. Demenge, M. Metayer, F. Robineau, A. Lespès, H.-A.-C. Prévost, M.-P. Otto, P. Benoist, L.-V. Benét, E. Horn, J.-M. Bel, J. de Lipkowski.

Officiers de l'instruction publique : MM. G. Griffisch, J. Holzschuch, L. Denis de Lagarde, H. P. Hanoteau, E.-H. Milon, J.-P.-E. Niclausse, E. Perroud.

Officiers d'académie : MM. J. Blanc, A. Lumet, A. Chassin, A.-J. Goblet, P.-M. Leroy, Ch. Marteau, A. Morizot, E.-F. Schertzer, L. Simulin, G.-A. Bailleux, G.-L. Beuret, E. Calendini, L.-E.-M. Chapron, A. Hugo, D. Lagneau, L.-Pornin, J. Mauroy, H. Chabal, E. Chaudoir, A. Sauvaget.

Officiers du mérite agricole : MM. Adrien Hallier, A. Philippe.

Chevaliers du mérite agricole : MM. P.-L. Arbel, J.-V. Boilève, A. Tellier J. Lemire, G. Lumet, G. Riffard.

DÉCORATIONS ETRANGÈRES

Grand officier du mérite naval d'Espagne : M. Canet.

Chevalier de Sainte-Anne de Russie : M. L. Baclé.

Chevalier de l'ordre de Léopold de Belgique : M. G. Reynaud.

Chevalier du Sauveur de Grèce : M. A. Pellerin.

Grand officier du mérite civil de Bulgarie : M. G. Canet.

Officier du Nicham Iftikar : M. G. A. Morin.

Chevalier de l'étoile noire du Bénin : M. D. Casalonga.

Chevalier de l'aigle d'Anjouan des Comores : M. L. Montel.

(Séance des 5 et 19 janvier, 2 et 16 février, 2 et 16 mars, 6 et 20 avril, 18 mai, 1er et 15 juin). 34, 36, 172, 184, 432, 439, 603, 615, 747, 907, et 912

DIVERS

Catastrophe de Courrières (Paroles prononcées par M. A. Hillairet, Président de la Société à propos de la) (séance du 16 mars). 439

Charrues d'Asie (les), par M. H. Chevalier (séance du 2 février), mémoire . . . . . 173 et 468

Cinquantenaire de l'Association des Ingénieurs allemands (Invitation d'assister aux fêtes du) (séance du 18 mai). 747

Demandes d'admission adressées aux membres de la Société (séance du 19 janvier). 36

Élections de M. Ch. Gallois, comme Président de la 5e section, de MM. J. Koecklin (2e section), G. Vesier (4e section), P. Besson (5e section), A. Larnaude (6e section), comme membres du Comité de la Société, de MM. H. Dufresne (2e section), G. Bousquet (4e section) et F. Clerc (5e section), comme Secrétaires techniques (séance du 19 janvier). 37

Installation des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1906. Discours de M. L. Coiseau, Président sortant et de M. A. Hillairet, Président pour 1906 (séance du 5 janvier). . . . . 7 et 15
Location de salles dans l'Hôtel de la Société (Séance du 19 janvier) 36
Salle des séances (Modification à la disposition de la) séance du 2 février) 173
Suppression de la 2e séance de juillet (séance du 15 juin) 912
Visite à l'usine de la Société de l'air liquide, à Boulogne-sur-Seine, le 23 janvier (séance du 19 janvier) 36

DONS ET LEGS

Don de 500 fr. par M. F. Robineau (séance du 2 mars) 432
Don de 100 fr. par M. Audbert (séance du 16 mars) 439
Don de 56 fr. par M. Thuillier (séance du 6 avril) 604
Don de vingt-cinq obligations de la Compagnie des Chemins de fer Départementaux par M. L. Coiseau (séance du 20 avril). 615

ÉLECTRICITÉ

Éclairage électrique des trains de chemins de fer par le système L'Hoest-Pieper (L'), par M. l'Hœst, *observations* de M. Bochet (séance du 20 avril). Mémoire. . . . . 619 et 685
Électrolytiques (Analyses), par M. A. Hollard, *observations* de M. L. Guillet (séance du 15 juin) 915
Funiculaire électrique de Nancy, par M. E. Bernardet (séance du 19 janvier). Mémoire. . . . . 37 et 42

EXPOSITIONS

Exposition internationale de Photographie (2e) au Grand-Palais, à Paris, de juillet à octobre 1906 (séance du 2 mars). . 432
Exposition minérale organisée par l' « Office colonial » du 10 au 15 mars 1906 (séance du 2 mars) 432
Exposition temporaire des produits miniers des Colonies françaises (séance du 5 janvier) 35

GÉNÉRATEURS — MACHINES A VAPEUR

Locomotives à l'Exposition de Liège (Les), (1re partie), (séance du 4 mai) 744

MÉCANIQUE

Moulage mécanique (État actuel du), par M. E. Ronceray (séance du 6 avril). Mémoire. . . . . 612 et 952
Nomographie (Nouveaux types d'abaques. — La capacité et la valence en), par M. R. Soreau (séance du 18 mai). Mémoire. 748 et 821

Turbines à gaz (Étude sur les), par M. L. Sekutowicz, *observations* de MM. J. Deschamps, René Armengaud, Sekutowicz et A. Hillairet (séance du 2 février). Mémoire . . . . . 174 et 195

Turbines à gaz (Généralités sur les moteurs et spécialement les), par M. J. Deschamps. 304

Turbines à gaz (Discussion sur les), par M. J. Deschamps, René Armengaud, Barbezat, J. Rey, G. Hart, Letombe, A. Bochet, Ch. Wehrlin, Sekutowicz, Jean Rey, M. Armengaud (séances des 6 et 20 avril) Mémoires. . . . . 604, 616 et de 754 à 820

Turbines à vapeur à la propulsion des navires (Développement de l'application des), par M. G. Hart (séance du 19 janvier). Mémoire . . . . . 38 et 56

MÉTALLURGIE

Compteurs en général et plus spécialement sur les compteurs électriques, par M. F. Brocq, *observations* de M. A. Hillairet (séance du 1er juin) 910

Sidérurgique aux États-Unis (L'industrie), par M. G. Rivière . . 317

NAVIGATION

Nouveau règlement du conseil fluvial pour la rivière Whangpou, communiqué par M. J. Chollot 703

NÉCROLOGIE

Notice nécrologique sur M. Édouard Simon, par M. A. Mallet. . 564

Notice nécrologique sur M. Ernest Zuber, par M. A. Mallet . . . 991

NOMINATIONS

De M. H. Faucher, comme membre du Conseil supérieur des Colonies (séance du 5 janvier) 34

De M. P. Bodin, comme membre de la Commission technique du laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers (séance du 5 janvier) 34

De MM. Bodin, Picou et Dupont, comme jurés titulaires, et MM. Baclé, Candlot et Arnoux, comme jurés supplémentaires du prix Nozo (séance du 2 février) 173

De MM. H. Béliard, L.-A.-L. Godard-Desmarest, F.-F.-G. Journet, J.-F.-P. Kestner, L.-G. Worms comme conseillers du commerce extérieur (séance du 16 mars). 439

De M. G. Canet, comme membre de la Commission chargée d'étudier les questions d'approvisionnements en poudres et explosifs de guerre (séance du 15 juin). 912

OUVRAGES, MÉMOIRES ET MANUSCRITS REÇUS

Bulletins de janvier à juin . . . . . 1, 165, 425, 597, 737 et 901

Publications périodiques reçues par la Société au 1er janvier 1906 (Liste des) 145

PLANCHES

Nos 120 à 124 et tableau A. (Bulletin de février.)

PRIX ET RÉCOMPENSES

Médaille Berthelot, décernée par l'Académie des Sciences à M. Canovetti (séance du 5 janvier) 34

Médaille d'or Carneggie, décernée à M. L. Guillet par l' « Iron and steel Institute » (séance du 18 mai) 747

Prix annuel de 1906, décerné à MM. Julliot et G. Marié, *ex æquo* (séance du 15 juin) 913

Prix de l'Exposition de 1884, décerné à M. J. Garçon par la Société industrielle de Rouen (séance du 16 mars) 432

Prix Gottschalk (triennal 1906), décerné à M. G. Hart (séance du 15 juin) 913

Prix Nozo (triennal 1906), décerné à M. L. Guillet (séance du 15 juin) 913

Prix Wilde, décerné par l'Académie des Sciences à M. Canovetti (séance du 5 janvier) 34

TRAVAUX PUBLICS

Murs de soutènement en maçonnerie avec éperons en béton armé, par M. F. Chaudy et *observations* de M. Groselier (séance du 2 mars). Mémoire. . . . . 432 et 453

Pont de commerce à arcs conjugués de Liège, par M. Th. Seyrig (Bulletin d'octobre 1905, page 611), *lettres* de MM. Chaudy et Th. Seyrig (séance du 5 janvier) 34

TABLE ALPHABÉTIQUE

PAR

NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LE 1er SEMESTRE, ANNÉE 1906.

(Bulletins de janvier à juin.)

Armengaud (R.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai) 754

Barbet (E.). — Industrialisation de la fermentation des vins et des cidres (bulletin de mars). 485

Bernardet (G.-E.). — Funiculaire électrique de Nancy (bulletin de janvier) 42

Bochet (A.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai) . . . 798

Chaudy (F.). — Note sur les murs de soutènement en maçonnerie avec éperons en béton armé (bulletin de mars). 453

Chevalier (H.). — Les charrues d'Asie (bulletin de mars) 458

Chollot (J.). — Communiqué du nouveau règlement du Conseil fluvial pour la rivière Whangpou (bulletin d'avril) 703

Deschamps (J.). — Généralités sur les moteurs et spécialement les turbines à gaz (bulletin de février) 304

Deschamps (J.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai). 819

Favrel (H.). — Compte rendu du Congrès français de la prévention du feu dans les bâtiments, tenu à Paris du 1er au 5 mars 1906. — Résumé analytique des travaux (bulletin de juin) 935

Hart (G.). — Note sur le développement de l'application des turbines à vapeur à la propulsion des navires (bulletin de janvier). 56

Hart (G.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai) 784

Letombe (L.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai). . 787

Lévy-Lambert (A.). — Les chemins de fer à crémaillère (bulletin de mars) 507

L'Hoest. — Éclairage électrique des trains de chemins de fer, par le système L'Hoest-Piéper (bulletin d'avril). 685

Mallet (A.). — Chroniques. . . . . 118, 397, 567, 707, 881 et 993

Mallet (A.). — Comptes rendus. . . . . 129, 410, 583, 378, 896 et 1009

Mallet (A). — Notice nécrologique sur M. Édouard Simon (bulletin de mars) 564

Mallet (A.). — Notice nécrologique sur M. Ernest Zuber (bulletin de juin). 991

Mallet (A.). — Chemins de fer de montagnes. — Traction sur crémaillère ou par adhérence. — Étude comparative (bulletin de juin) 917

Marié (J.). — Les grandes vitesses des chemins de fer. — Les oscillations du matériel et la voie (bulletin d'avril) 622

Rey (J.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai). 771

Rivière (G.). — L'industrie sidérurgique aux États-Unis (bulletin de février) 317

Ronceray (E.). — État actuel du moulage mécanique (bulletin de juin) 952

Sekutowicz (L.). — Les turbines à gaz (bulletin de février). 195

Sekutowicz (L.). — Discussion sur les turbines à gaz (bulletin de mai) 803

Soreau (R.). — Nouveaux types d'abaques. — La capacité et la valence en nomographie (bulletin de mai). 821

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 11672-7-06. — (Encre Lorilleux).